

— NAVEGAÇÃO: A CIÊNCIA E A ARTE

VOLUME II – NAVEGAÇÃO ELETRÔNICA E EM CONDIÇÕES ESPECIAIS



ALTINEU PIRES MIGUENS

34

NOÇÕES SOBRE GERAÇÃO, TRANSMISSÃO, PROPAGAÇÃO E RECEPÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E ACÚSTICAS

34.1 NAVEGAÇÃO ELETRÔNICA

a. DEFINIÇÃO. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO

Em sua definição mais rigorosa, a expressão **Navegação Eletrônica** refere-se a todos os usos da eletrônica na navegação. Assim, o termo inclui, por exemplo, o emprego da Agulha Giroscópica para o governo do navio e a utilização do Ecobatímetro na navegação costeira ou em águas restritas. Entretanto, na prática, a expressão **Navegação Eletrônica** aplica-se quando os dois propósitos básicos da navegação (determinação da posição e controle dos movimentos do navio) são efetuados usando meios eletrônicos. Então, pode-se definir **Navegação Eletrônica** como aquela que envolve o emprego de equipamentos e sistemas eletrônicos para determinação da posição e controle dos movimentos do navio.

A expressão Navegação Eletrônica é mais abrangente que o termo Radionavegação, que se limita aos equipamentos eletrônicos de navegação que usam ondas de radiofrequência. Assim, por exemplo, o sonar doppler e o sistema de navegação inercial são recursos de Navegação Eletrônica, mas não são de Radionavegação.

Os instrumentos e equipamentos eletrônicos, apesar de todos os avanços e dos desenvolvimentos recentes, em termos de confiabilidade, precisão e área de cobertura, ainda são tradicionalmente denominados de **auxílios eletrônicos à navegação**, para denotar que constituem recursos complementares aos métodos clássicos de navegação. Embora sistemas eletrônicos, como o GPS (“Global Positioning System”), sejam capazes de

prover cobertura mundial permanente, com grande precisão de posicionamento e confiabilidade, o navegante não deve esquecer que a sua utilização depende do perfeito funcionamento de instrumentos delicadíssimos, sobre os quais não exerce qualquer tipo de controle, e que a interpretação das informações fornecidas requer o conhecimento de conceitos tradicionais de navegação e depende da experiência do operador. Em suma, não se pode confiar cegamente na “push-button navigation”, sob pena de colocar em risco a segurança do navio e da tripulação. Por esta razão, recomenda-se:

1. Somente conduzir a navegação exclusivamente por métodos eletrônicos naquelas circunstâncias em que não seja possível a sua verificação pelos métodos convencionais, em virtude de má visibilidade, ausência de astros para observação, inexistência de auxílios visuais à navegação ou pontos notáveis, etc.; se essa situação ocorrer, recordar sempre que uma deficiência instrumental, um erro de interpretação, ou, ainda, anomalias na propagação das ondas eletromagnéticas, ou acústicas, podem levar a resultados errados e situações perigosas;

2. aproveitar todas as ocasiões para verificar o desempenho dos sistemas eletrônicos, por comparação com os métodos clássicos de navegação, a fim de poder formar um juízo de valor sobre sua confiabilidade, precisão e cobertura; e

3. providenciar para que os equipamentos sejam submetidos às rotinas de manutenção recomendadas, conhecer completamente os procedimentos para operação dos instrumentos e sistemas, suas possibilidades e limitações, além de verificar o seu funcionamento, antes de o navio suspender.

Quando estudamos os métodos clássicos de navegação, verificamos que a posição do navio é obtida utilizando o conceito de **linha de posição (LDP)**, definida como o lugar geométrico de todas as posições possíveis de serem ocupadas pelo navio, tendo sido efetuada uma determinada observação, em um dado instante. A posição, como se sabe, estará na interseção de duas ou mais LDP. Ademais, vimos que as LDP podem ser obtidas por métodos visuais (reta de marcação, alinhamento, distância pelo ângulo vertical, segmento capaz, etc.) ou astronômicos (reta de posição astronômica).

A Navegação Eletrônica também utiliza o conceito de linha de posição para determinação da posição do navio. As LDP eletrônicas são obtidas por três métodos básicos:

- método direcional;
- método de medição de distâncias, ou diferença de distâncias; e
- método composto direcional-distâncias.

O método direcional consiste na determinação de uma reta de marcação eletrônica (ângulo entre uma direção de referência e a linha que une o navio ao objeto/estação). Como exemplos de equipamentos de Navegação Eletrônica que empregam o método direcional na determinação da LDP, citam-se o Radiogoniômetro e o Consol, além do Radar, quando usado na obtenção de marcações.

O método de medição de distâncias, ou diferença de distâncias, consiste na determinação de uma circunferência de igual distância, ou de uma hipérbole de posição (lugar geométrico de pontos que têm a mesma diferença de distâncias a dois pontos fixos). No primeiro caso (método de medição de distâncias), citam-se o Sistema GPS e o Radar, quando usado na obtenção de distâncias. O método de medição de diferença de distâncias é utilizado pelos sistemas de navegação hiperbólica (Loran-C, Decca e Omega). Mesmo os equipamentos GPS, Loran-C e Omega que incorporam computadores, os quais já fornecem

diretamente as coordenadas da posição (Latitude e Longitude), utilizam para os seus cálculos LDP eletrônicas determinadas pelos métodos citados.

O método composto direcional-distâncias é empregado pelo Radar, quando determinam-se posições por marcações e distâncias radar, conforme estudado no Volume I, Capítulo 14.

Os equipamentos de navegação inercial utilizam um método próprio, baseado nos princípios da Navegação Estimada, determinando a posição do navio através dos rumos e distâncias navegadas, medidos com grande precisão, a partir de uma posição inicial conhecida.

É comum, também, denominar de **Sistema de Navegação Eletrônica** o conjunto de instrumentos, equipamentos e dispositivos, em terra e a bordo, que possibilitam a obtenção de uma LDP eletrônica, ou de um ponto completo (Latitude e Longitude). O radar e os equipamentos de navegação inercial e doppler constituem, por si só, um sistema, pois são “self contained”, isto é, com eles podemos determinar a posição do navio sem auxílio de dispositivos baseados em terra, ou no espaço.

b. PRECISÃO, PREVISIBILIDADE E REPETITIBILIDADE

Uma das primeiras perguntas formuladas acerca dos sistemas de Navegação Eletrônica refere-se à precisão (acurácia)¹ com que determinam as posições do navio. De interesse primordial para o navegante é a precisão ou acurácia absoluta, isto é, a exatidão da posição obtida, com respeito à Terra e seu sistema de coordenadas (Latitude e Longitude). Outros conceitos relacionados à precisão são os de previsibilidade, repetitibilidade e precisão relacional, adiante explicados.

Quando comentarmos a precisão dos sistemas de Navegação Eletrônica estudados nos capítulos que se seguem, estaremos nos referindo à acurácia absoluta dos mesmos, exceto quando especificamente indicado de outro modo.

Esta precisão pode ser medida de uma série de maneiras. O **erro médio quadrático** (RMS – “root mean square”) é a medida estatística da variabilidade de uma única LDP; este valor unidimensional tem pouca utilidade no caso de posições que resultam de várias LDP. Mais conveniente é o conceito de **erro circular provável** (CEP – “circular error probable”), que é o raio de um círculo no interior do qual existe 50% de probabilidade das posições determinadas estarem localizadas.

No entanto, quando a interseção das LDP resulta em uma elipse, em vez de um círculo, utiliza-se o termo **erro radial** (dRMS – “distance root mean square”) para definir a precisão da posição. O **erro radial** (dRMS) significa que uma posição determinada terá cerca de 67% de probabilidade de ter um erro igual ou menor que o seu valor. Quando se usa 2 dRMS (ou seja, duas vezes o desvio padrão anterior), esta probabilidade cresce para 95% a 98%.

A **previsibilidade** de um sistema de Navegação Eletrônica consiste no conhecimento das características de propagação do sinal sob determinadas condições atmosféricas. A **previsibilidade** é influenciada, principalmente, pela refração atmosférica e pela condutividade da superfície de propagação. Sabe-se, por exemplo, que o sinal de

¹ Embora o termo técnico-científico mais correto para definir o grau de exatidão de uma medida seja **acurácia**, este Manual utilizará a palavra **precisão** com o mesmo significado, em virtude desta ser de uso mais comum, já consagrado na navegação.

radiogoniometria perde alcance e pode induzir erros na marcação radiogoniométrica quando se propaga sobre terra ou sobre água doce. Além disso, é também afetado pelas condições ionosféricas durante a noite (efeito noturno). O sinal Omega, por outro lado, é afetado pela calota polar, quando se propaga em Latitudes elevadas. Ademais, as hipérboles de posição traçadas nas Cartas Omega correspondem a condições padrão de propagação. Quando as condições reais diferem consideravelmente dos padrões, as leituras do receptor Omega necessitam ser corrigidas, antes do traçado das LDP na carta.

O segundo conceito, denominado **repetitibilidade** refere-se à capacidade de um sistema de indicar as mesmas medidas, sempre que se estiver na mesma posição, ou seja, está relacionado à capacidade de retornar exatamente a uma determinada posição, em uma ocasião posterior, orientado pelas coordenadas lidas anteriormente no sistema, quando na mesma posição. Isto é importante, por exemplo, para embarcações de pesca ou de pesquisa científica.

Além desses, é relevante o conceito de **precisão relacional**, que consiste na exatidão de uma posição, com respeito a outra posição determinada pelo mesmo sistema.

34.2 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E ACÚSTICAS

Os sensores e sistemas de **Navegação Eletrônica** têm que operar em diferentes meios, entre os quais estão o espaço, a atmosfera e as águas dos mares, oceanos e rios. Na execução da **Navegação Eletrônica** e em outras atividades relacionadas à navegação, como a recepção de informações meteorológicas e de Avisos aos Navegantes, dados devem ser transmitidos através de um ou mais desses meios. Basicamente, existem duas maneiras de se conseguir isso: pelo uso das **ondas eletromagnéticas** ou das **ondas acústicas**. O primeiro caso inclui a radionavegação, o radar e as comunicações. As ondas acústicas compreendem o emprego do som, ou das ondas sonoras e ultra-sonoras, na navegação.

No espaço, ou no vácuo, apenas as ondas eletromagnéticas podem se propagar entre dois pontos. Na atmosfera, tanto as ondas eletromagnéticas como as acústicas podem se propagar, embora as primeiras o façam com maiores vantagens. Essas vantagens fazem com que as ondas eletromagnéticas dominem completamente o panorama dos sistemas de navegação para uso na atmosfera e no espaço. No oceano, a situação se inverte, e as ondas acústicas dominam os sistemas desenvolvidos para atuar neste meio.

A **Navegação Eletrônica**, por se desenvolver tanto na atmosfera como nos mares e oceanos, exige compreensão da natureza das ondas eletromagnéticas e acústicas e das suas implicações sobre a capacidade de um navegante obter as informações que necessita para a condução segura do navio ou embarcação.

As ondas representam, em ambos os casos, o mecanismo segundo o qual a propagação se efetua, existindo, portanto, várias semelhanças entre os processos. Entretanto, os fenômenos físicos responsáveis pela geração de cada um dos tipos de onda diferem fundamentalmente. É importante que se tenha uma razoável noção dessas diferenças e semelhanças. Os itens que se seguem buscam apresentar uma resenha dos conceitos básicos referentes às ondas eletromagnéticas e acústicas, abordadas separadamente.

34.3 TEORIA BÁSICA DA ONDA ELETROMAGNÉTICA

Para entender os princípios em que se baseia a Radionavegação, o navegante deverá compreender a forma em que se geram as ondas eletromagnéticas e as principais características de sua propagação.

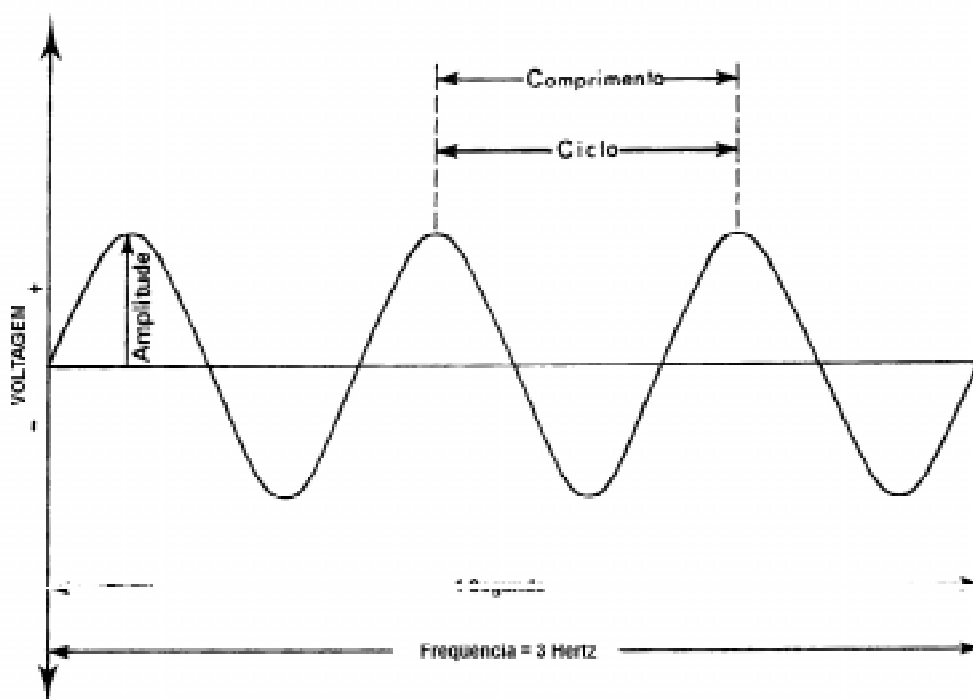
a. GERAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Os fenômenos nos quais intervêm tanto a corrente elétrica como o campo magnético, são denominados de fenômenos eletromagnéticos. São três os fenômenos eletromagnéticos básicos:

1. Se uma corrente elétrica fluir por um condutor será criado, ao redor do mesmo, um campo magnético (o condutor produzirá um campo magnético, como se fosse um ímã);
2. se um condutor percorrido por uma corrente elétrica for colocado dentro de um campo magnético, ficará sujeito a uma força; e
3. se um condutor fechado for colocado em um campo magnético, de modo que a superfície determinada pelo condutor seja atravessada pelo fluxo magnético, a variação do fluxo induzirá no condutor uma corrente elétrica.

A teoria básica da corrente alternada estabelece que um campo variável, que resulta do fluxo de uma corrente alternada em um circuito, induz uma voltagem em um condutor colocado dentro do campo. Na realidade, a voltagem é induzida ainda que não haja condutor no campo. Esta voltagem induzida no espaço, com a forma mostrada na figura 34.1, é, de fato, um campo elétrico. Desta forma, um campo magnético cria no espaço um campo elétrico variável. Este campo elétrico, por sua vez, produz uma corrente

Figura 34.1 – Campo Elétrico Variável (Curva Representativa da Geração de Corrente Alternada)



de deslocamento que gera um campo magnético, o qual, por seu turno, cria um campo elétrico, e assim por diante. O processo mediante o qual estes campos se induzem mutuamente denomina-se **indução eletromagnética**. A combinação de campos é denominada **campo eletromagnético**.

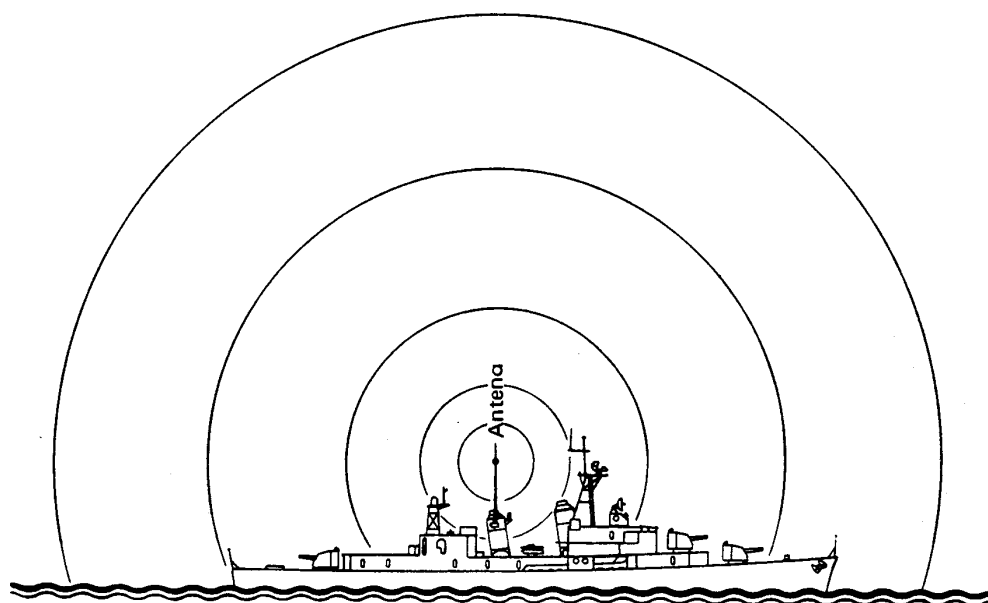
Em um campo de irradiação eletromagnética, as linhas do campo elétrico se fecham sobre si mesmas, não estando unidas a cargas elétricas; e as linhas do campo magnético não estão relacionadas à corrente em um condutor. Os campos são verdadeiramente independentes, como se houvessem sido liberados no espaço. Há, portanto, uma idéia de movimento no processo, sendo esta propagação denominada **onda eletromagnética**.

Toda a teoria sobre esta matéria foi desenvolvida há mais de 100 anos por J. C. Maxwell, que correlacionou uma série de quatro equações parcialmente diferenciadas, que descrevem a interação das componentes elétricas e magnéticas do **campo eletromagnético** e sua relação com a voltagem e corrente elétrica. Estas equações proporcionam a base teórica do eletromagnetismo e com seu emprego podem ser resolvidos os problemas de campos eletromagnéticos e de irradiação. São elas: a Lei de Ampère para circuitos, o Teorema de Gauss para campos elétricos, o Teorema de Gauss para campos magnéticos e a Lei de Faraday sobre a força eletromotriz. A teoria de Maxwell facilita o cálculo da propagação eletromagnética.

Para produção das ondas eletromagnéticas utilizadas em **Navegação Eletrônica**, onde as frequências são elevadas, usa-se um circuito eletrônico denominado **circuito oscilador**, ou, simplesmente, **oscilador**. Assim, pode-se dizer que uma **onda eletromagnética** é produzida pelas rápidas expansões e contrações de um campo magnético que, por sua vez, é gerado pela energização e desenergização de um circuito eletrônico especialmente projetado, denominado **oscilador**. Um **amplificador** é, geralmente, usado para fortalecer a potência de saída do **oscilador** e uma **antena** para formar a onda de saída e irradiar a onda eletromagnética no espaço.

Na prática, exceto no caso de ondas de rádio de frequências muito elevadas, uma das extremidades do **oscilador** é ligada à terra. O campo de irradiação é, pois, o da figura 34.2, onde se verifica que a metade inferior penetra no terreno.

Figura 34.2 – Irradiação das Linhas de Força

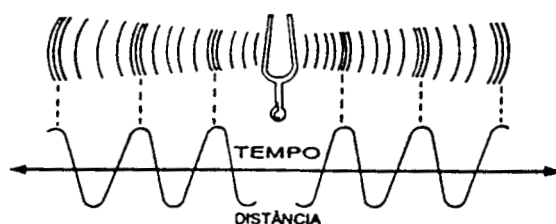


b. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A oscilação da carga elétrica (energia que se propaga) tem a forma sinusoidal e recebe o nome de **onda eletromagnética**. Esta oscilação pode ser produzida por um circuito oscilador, pelo movimento de um condutor dentro de um campo magnético, pelo método magnetostriativo (a vibração mecânica de matérias ferromagnéticas induz uma corrente alternada em um condutor enrolado em torno do material), pelo método piezoelétrico (a vibração mecânica do quartzo produz corrente alternada entre duas placas nos lados opostos do cristal), ou pela natureza, como são as oscilações do movimento ondulatório que dá origem à luz, raios X, raios Gama e outras radiações.

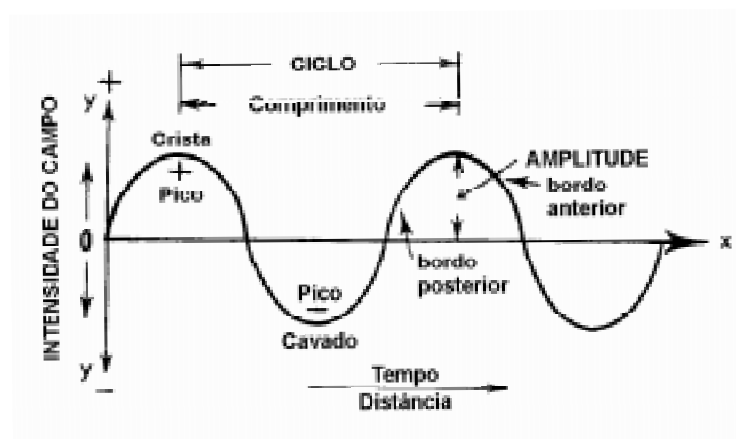
Representando a propagação de uma onda em um plano vertical, tendo como referência uma linha base, à qual chamaremos de linha zero, vemos que qualquer onda sempre terá uma parte acima da linha zero (positiva), e outra abaixo da linha zero (negativa). A linha zero representa, na realidade, uma linha de tempo/distância, dando a noção do afastamento, no tempo e no espaço, da onda eletromagnética, com relação à fonte emissora (figura 34.3).

Figura 34.3 – Onda Eletromagnética



No que se refere à terminologia da **onda eletromagnética**, os pontos mais altos da curva sinusoidal são denominados **picos**. O pico positivo é medido na direção considerada positiva; o pico negativo, na direção oposta. A parte mais alta de uma onda é denominada **crista**, na direção positiva, e **cavado**, na direção considerada negativa. A parte da frente da onda, no sentido do deslocamento, é denominada **bordo anterior**. A parte de trás da onda é o **bordo posterior** (figura 34.4).

Figura 34.4 – Nomeclatura da Onda Sinusoidal

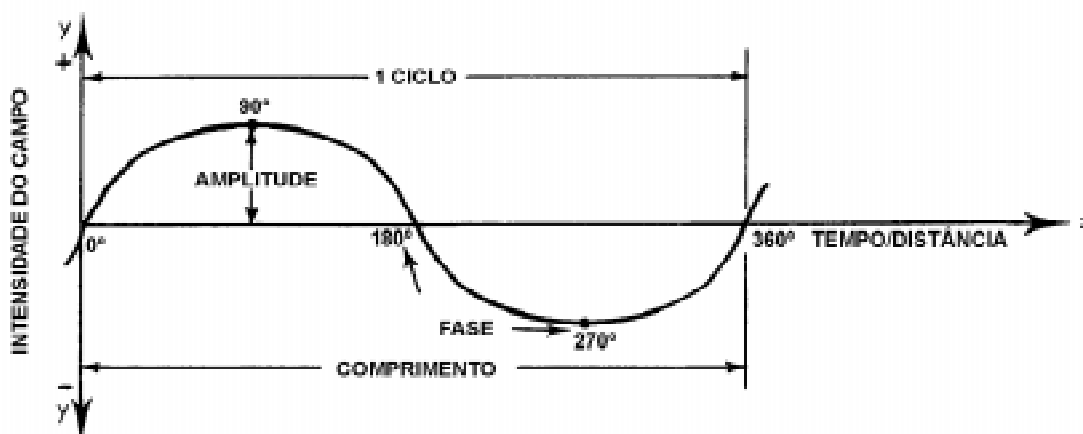


Ciclo é uma seqüência completa de valores da intensidade da onda que passa através de um ponto no espaço. É a seqüência completa de valores, de crista a crista, de cavado a cavado, ou de nulo a nulo (figuras 34.4 e 34.5).

Comprimento da onda é a distância horizontal de crista a crista, ou de cavado a cavado consecutivos. É, portanto, a distância entre dois picos positivos (ou negativos) sucessivos da onda. É medido em metros e seus submúltiplos. O **comprimento** da onda é o comprimento de um **ciclo** expresso em unidades de distância. A distância percorrida pela energia durante um **ciclo** é o **comprimento** da onda. Então, nas figuras 34.4 e 34.5, o **ciclo** acompanha o trajeto senoidal, enquanto que o **comprimento** é uma distância horizontal.

Amplitude da onda é a distância vertical entre um ponto da onda e a linha zero (eixo dos X); é, assim, a altura da onda e indica a sua intensidade (força) no ponto considerado (figura 34.5).

Figura 34.5 – Terminologia da Onda Eletromagnética



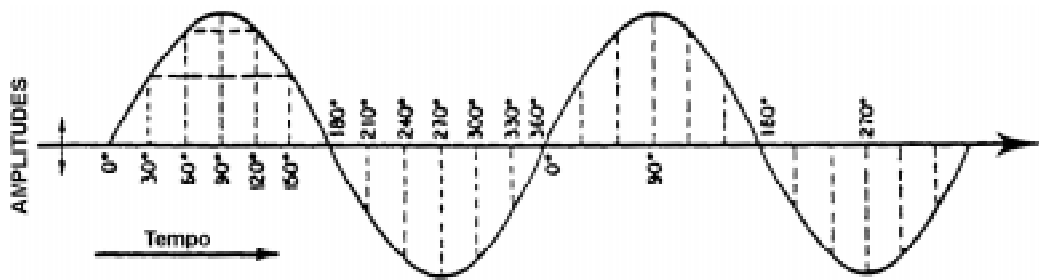
Período da onda é o tempo gasto para completar um ciclo.

Freqüência (f) é o número de ciclos completados na unidade de tempo. Em se tratando de **ondas eletromagnéticas**, a unidade de tempo normalmente usada é o segundo, ou seus submúltiplos (microsegundo, picosegundo ou nanosegundo). Na faixa de rádio do espectro eletromagnético, as freqüências são medidas em **Hertz (Hz)**, que corresponde a 1 ciclo por segundo.

Fase é a quantidade que um ciclo progrediu desde uma origem especificada. A **fase** é geralmente medida em unidades angulares, correspondendo um **ciclo** completo a 360° (figura 34.5). A **fase** também pode ser definida como sendo a situação de um determinado ponto da onda em relação a um ponto-origem, expressa em unidades angulares. Assim, na figura 34.6, temos a representação dos ângulos de fase. Normalmente, a origem é o zero da curva. A fase alcança 90° na crista da onda; 180° quando a amplitude é novamente zero; 270° no cavado e 360° quando volta de novo a zero.

Se tivermos duas ondas com o mesmo ângulo de fase, diremos que as mesmas estão **em fase**. Se os ângulos de fase forem diferentes, com relação a uma origem comum, diz-se que as ondas estão **fora de fase**, ou **defasadas**. O ângulo de diferença de fase denomina-se **defasagem**.

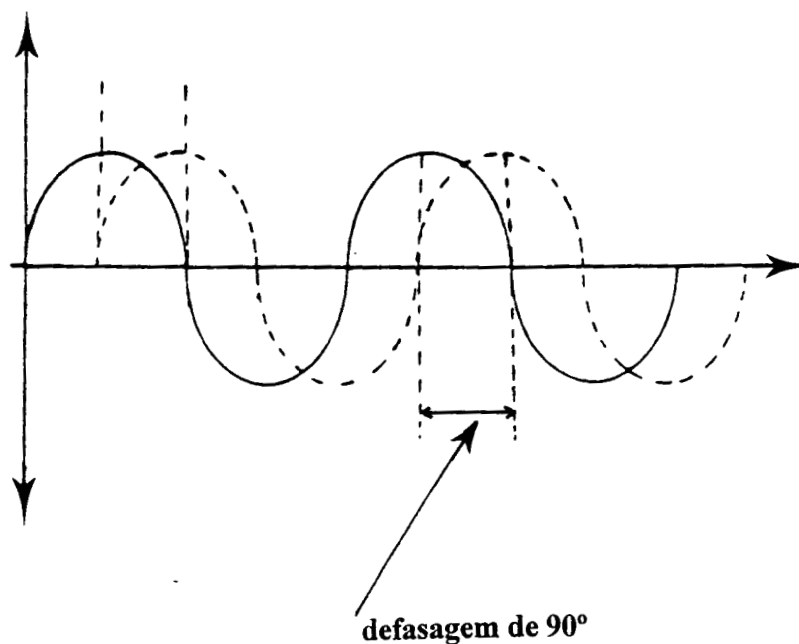
Figura 34.6 – Dois Ciclos da Curva Sinusoidal, Mostrando as Amplitudes da Onda a Cada 30° de Fase



Portanto, duas ondas podem ser comparadas pela medida da diferença de suas fases. Se, por exemplo, duas ondas tiverem suas cristas defasadas de um quarto de ciclo, elas estarão defasadas de 90° , ou 90° fora de fase, conforme mostrado na figura 34.7.

O conceito de **fase** é importante e forma a base dos Sistemas Hiperbólicos de Navegação, como o Decca e o Omega.

Figura 34.7 – Diferença de Fase



c. RELAÇÃO ENTRE FREQUÊNCIA E COMPRIMENTO DE ONDA. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Para calcular a velocidade das ondas de energia eletromagnética que se propagam no espaço a partir do ponto em que foram geradas, devem ser consideradas as características do meio através do qual se deslocam. Maxwell descobriu, mediante deduções matemáticas, que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo era muito semelhante à velocidade de propagação das ondas luminosas, ou seja, aproximadamente 3×10^8 m/seg, ou 300.000 km/seg, concluindo, também, que as ondas de luz constituem uma forma de energia eletromagnética. Medições posteriores determinaram que, embora existam pequenas variações em função da frequência e da densidade do meio, a velocidade de

propagação das ondas eletromagnéticas na atmosfera é de 299.708.000 metros/segundo (161.829,37 milhas náuticas/segundo), o que corresponde a uma diferença de 0,097% em relação ao primeiro valor.

Pela própria definição de frequência da onda eletromagnética (número de ciclos completados na unidade de tempo), pode-se concluir que o **comprimento de onda** será tanto menor quanto maior for a **frequência**. Assim, o valor do **comprimento de onda** está diretamente relacionado à **frequência** e à **velocidade de propagação**.

Para ilustrar a relação que existe entre **velocidade de propagação**, **comprimento de onda** e **frequência**, considere-se o tempo que transcorre para a passagem de um ciclo completo de um campo eletromagnético por um ponto específico da superfície terrestre.

Durante este lapso de tempo (uma fração de segundo), passará pelo ponto considerado um comprimento de onda, ou seja, o intervalo de tempo que se mediu corresponde ao tempo necessário para que o campo magnético se desloque de uma distância igual a um comprimento de onda. Pela física, sabemos que a distância percorrida é igual ao produto da velocidade pelo tempo, isto é:

$$e = v \cdot t$$

Neste caso, a distância (e) é igual ao comprimento de onda (l) e a velocidade (v) é igual à velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas (C @ 300.000 km/s). O tempo (t) corresponde a 1 ciclo completo.

Sabemos que a **frequência (f)** é igual ao número de ciclos na unidade de tempo. O intervalo de tempo correspondente a um ciclo, portanto, será igual a 1/f.

Então:

$$\begin{aligned} l &= C \cdot t \\ l &= C/f; \text{ ou } C = l \cdot f \end{aligned}$$

Como vimos, a **frequência** é medida em Hertz (ciclos/seg). Assim, o **comprimento de onda (l)**, em metros, será:

$$l = \frac{300.000.000}{f \text{ (em Hertz)}}$$

Se for necessária maior precisão:

$$l = \frac{299.708.000}{f \text{ (em Hertz)}}$$

Então, conclui-se que cada frequência eletromagnética é irradiada em um comprimento de onda próprio, ou seja, a cada frequência corresponde um determinado comprimento de onda.

O conjunto total das **frequências** das radiações eletromagnéticas constitui o **espectro eletromagnético**, ou **espectro de frequências**. As frequências nesse espectro variam desde dezenas de Hertz até 10^{10} Hertz, englobando rádio, radar, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X, raios Gama e outras radiações. O comportamento de

uma onda eletromagnética depende, sobretudo, da sua **freqüência** e do correspondente **comprimento de onda**. Para efeitos descritivos, as freqüências eletromagnéticas são agrupadas em faixas, arranjadas de forma ascendente, conforme mostrado no quadro abaixo.

A faixa das freqüências apropriadas para utilização em transmissões de rádio é denominada de **espectro das ondas de rádio** ou **faixa de radiofreqüências**, estendendo-se de 10 kHz (10.000 ciclos/segundo) a 300.000 MHz (300.000 megaciclos/segundo), sendo, também, conhecida como **Faixa de Rádio e de Microondas**.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO			
Faixa	Abreviatura	Freqüências	Comprimentos
Audiofreqüência	AF	20 a 20.000 Hz	15.000.000 a 15.000m
Radiofreqüência	RF	10 kHz a 300.000 MHz	30.000m a 0,1cm
Calor e Infravermelho*		10^6 a $3,9 \times 10^8$ MHz	0,03 a $7,6 \times 10^{-5}$ cm
Espectro Visível*		$3,9 \times 10^8$ a $7,9 \times 10^8$ MHz	$7,6 \times 10^{-5}$ a $3,8 \times 10^{-5}$ cm
Ultravioleta*		$7,9 \times 10^8$ a $2,3 \times 10^{10}$ MHz	$3,8 \times 10^{-5}$ a $1,3 \times 10^{-6}$ cm
Raios X*		$2,0 \times 10^9$ a $3,0 \times 10^{13}$ MHz	$1,5 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-9}$ cm
Raios Gama*		$2,3 \times 10^{12}$ a $3,0 \times 10^{14}$ MHz	$1,3 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-10}$ cm
Raios Cósmicos*		$> 4,8 \times 10^{14}$ MHz	$< 6,25 \times 10^{-11}$ cm

ESPECTRO DAS RADIOFREQUÊNCIAS			
Faixa	Abreviatura	Freqüências	Comprimentos
Freqüência muito baixa (Very Low Frequency)	VLF	10 a 30 kHz	30.000 a 10.000m
Freqüência baixa (Low Frequency)	LF	30 a 300 kHz	10.000 a 1.000m
Freqüência média (Medium Frequency)	MF	300 a 3.000 kHz	1.000 a 100m
Freqüência alta (High Frequency)	HF	3 a 30 MHz	100 a 10m
Freqüência muito alta (Very High Frequency)	VHF	30 a 300 MHz	10 a 1m
Freqüência ultra alta (Ultra High Frequency)	UHF	300 a 3.000 MHz	100 a 10cm
Freqüência super alta (Super High Frequency)	SHF	3.000 a 30.000 MHz	10 a 1cm
Freqüência extremamente alta (Extremely High Frequency)	EHF	30.000 a 300.000 MHz	1 a 0,1cm

* Dados aproximados; kHz = Quilohertz e MHz = Megahertz.

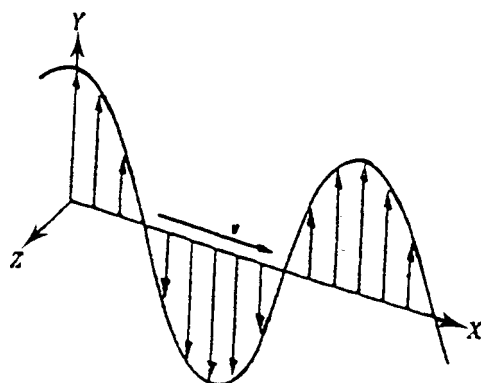
Para facilidade de referência, o **espectro das ondas de rádio** é dividido nas oito faixas de frequência antes descritas, cujas principais aplicações na **Navegação Eletrônica** e comunicações marítimas são:

- **VLF** – (Very Low Frequency = frequência muito baixa): nessa faixa estão incluídas todas as frequências de rádio **menores que 30 kHz**. A principal utilização dessa faixa em navegação é o sistema **OMEGA**, que estudaremos em outro capítulo;
- **LF** – (Low Frequency = baixa frequência): nessa faixa, compreendida entre **30 e 300 kHz**, situam-se os sistemas **DECCA**, **LORAN-C** e a maioria dos **radiofaróis**;
- **MF** – (Medium Frequency = média frequência): nessa faixa, compreendida entre **300 kHz e 3 MHz**, encontramos algumas estações de radiofaróis e as estações de “broadcast”;
- **HF** – (High Frequency = alta frequência): essa faixa, compreendida entre **3 MHz e 30 MHz**, é usada, principalmente, para comunicações a longa distância (Avisos aos Navegantes, Previsões Meteorológicas);
- **VHF** – (Very High Frequency = frequência muito alta): essa faixa, compreendida entre **30 MHz e 300 MHz**, é usada para comunicações de curta e média distâncias (navio-navio e navio-terra), além de radiogoniometria em VHF;
- **UHF** – (Ultra High Frequency = frequência ultra-alta): essa faixa inclui frequências entre **300 MHz e 3.000 MHz**, e é usada nas comunicações de curta distância e em algumas **transmissões radar** (final da faixa). Além disso, é usada pelo Sistema GPS de navegação por satélite;
- **SHF** – (Super High Frequency = frequência super-alta): essa faixa inclui frequências entre **3.000 MHz e 30.000 MHz**. É usada em **transmissões radar**;
- **EHF** – (Extremely High Frequency = frequência extra-alta): essa faixa inclui frequências de **30.000 MHz a 300.000 MHz**. Tanto essa, quanto a faixa anterior (SFH), são usadas quase que exclusivamente em **radares de elevada precisão**.

d. POLARIZAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas eletromagnéticas são uma forma de energia oscilatória constituída por campos elétrico e magnético que se propagam no espaço. Se essas ondas estão num mesmo plano, ou seja, se os deslocamentos estão sempre no plano XY da figura 34.8, diz-se que o movimento ondulatório é polarizado linearmente. Se o plano estiver na vertical, a polarização será vertical. Se o plano estiver na horizontal, a polarização será horizontal.

Figura 34.8 – Polarização Linear



Na figura 34.9, a seta $\mathbf{c}$ indica a direção de propagação da onda; o vetor $\mathbf{E}$ representa o campo elétrico e o vetor $\mathbf{H}$, o campo magnético. Os dois campos, elétrico e magnético, de uma onda plana são perpendiculares entre si (o vetor $\mathbf{E}$ é perpendicular ao vetor $\mathbf{H}$). A figura 34.10 apresenta um trem de ondas eletromagnéticas, onde novamente a seta $\mathbf{c}$ representa a direção de propagação, o vetor $\mathbf{E}$ o campo elétrico e o vetor $\mathbf{H}$ o campo magnético. Verifica-se, mais uma vez, que os dois campos são perpendiculares.

Polarização de uma onda eletromagnética é a direção do plano onde oscila o campo elétrico. Portanto, na figura 34.10, a onda está polarizada no plano XY.

Figura 34.9 – Orientação dos Campos Elétrico e Magnético com Relação à Direção de Propagação da Onda

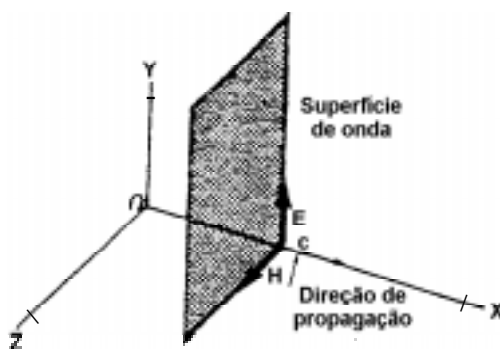
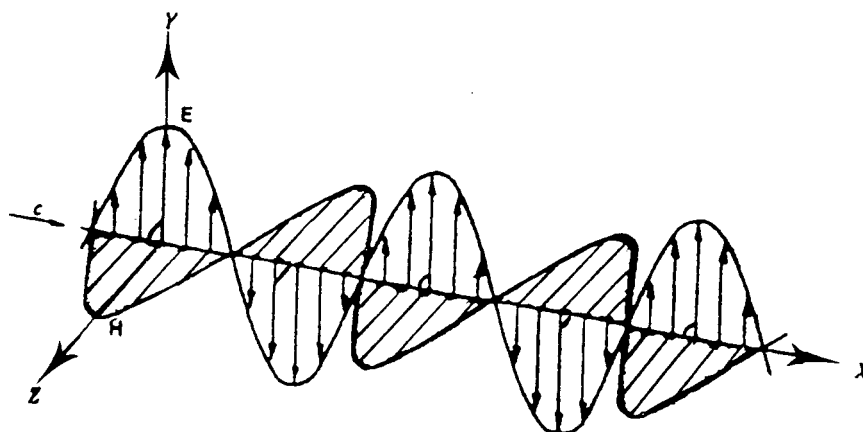


Figura 34.10 – Campos Elétrico e Magnético de uma Onda Plana, Polarizada no Plano XY



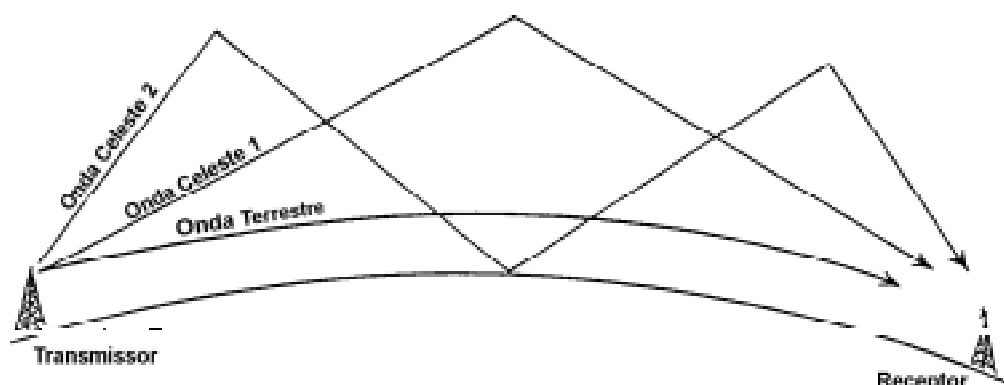
Uma onda eletromagnética deslocando-se através do espaço pode estar polarizada em qualquer direção. Mas, junto à Terra, devido a esta ser condutora e curto-circuitar todas as componentes horizontais, a onda eletromagnética estará sempre **polarizada verticalmente**, o que é uma importante característica da propagação, que devemos conhecer.

e. ONDAS TERRESTRES E ONDAS CELESTES

A energia eletromagnética, ao ser irradiada pela antena, propaga-se em todas as direções. Uma parte desta energia se propaga paralelamente à superfície da Terra, enquanto

o restante desloca-se para cima, até que se choca com a ionosfera e reflete-se de volta à Terra. Esta onda refletida, quando alcança a superfície terrestre, reflete-se outra vez em direção às altas camadas da atmosfera, onde pode refletir-se de novo para a Terra, conforme mostrado na figura 34.11 (nessa figura, a onda celeste nº 1 sofreu uma única reflexão, enquanto a onda celeste nº 2 sofreu uma dupla reflexão). A parte da energia que segue a superfície da Terra denomina-se **onda terrestre**, as que são refletidas denominam-se **ondas celestes** ou **ionosféricas**. As ondas que se propagam em linha reta têm o nome de **ondas diretas**.

Figura 34.11 – Onda Terrestre e Onda Celeste



Em frequências baixas, a **onda terrestre** adquire uma grande importância, pois a maior parte da energia se irradia seguindo esta direção, sendo a condutividade do terreno um fator determinante na atenuação do sinal (diminuição de amplitude de uma onda, ou corrente, ao aumentar sua distância da fonte emissora), devido à absorção e seus efeitos sobre a velocidade de propagação.

A condutividade do terreno faz com que uma parte do campo eletromagnético penetre na superfície da Terra. Como resultado, o limite inferior da frente de onda se atrasa em seu deslocamento, com relação à parte superior, devido à sua penetração neste meio de maior condutividade (enquanto a parte superior não é afetada). Isto traz, como consequência, que toda a frente de onda incline-se para vante, com relação à vertical da fonte emissora, fazendo com que o movimento das ondas eletromagnéticas se curve, acompanhando a curvatura da Terra.

Esta tendência de seguir a curvatura da Terra é que torna possível a transmissão de ondas terrestres a grandes distâncias. Entretanto, deve-se recordar que, junto com esta curvatura do movimento da onda eletromagnética, produz-se, também, uma dissipação de energia, devido à absorção causada pela penetração na superfície terrestre. Para compensar este efeito, é necessário o emprego de potências elevadas, quando se deseja alcançar grandes distâncias mediante o emprego de **ondas terrestres**.

A variação das características de condutividade do solo, ao longo do caminho seguido por uma onda terrestre, torna a previsão de seus efeitos muito complexa e difícil. Por outro lado, a condutividade das superfícies oceânicas é praticamente constante, com o que a velocidade de propagação, neste caso, pode ser prevista com bastante precisão.

Somente as transmissões em baixas frequências se curvam o suficiente para seguir a superfície terrestre por grandes distâncias. Os campos eletromagnéticos de frequências mais altas curvam-se apenas ligeiramente, não o bastante para proporcionar sinais a grandes distâncias da fonte de transmissão.

34.4 PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

O comportamento das ondas eletromagnéticas é afetado pelo meio que atravessam. Os efeitos da atmosfera e da superfície da Terra que afetam a propagação e interessam diretamente ao desempenho dos sistemas de **Navegação Eletrônica** são:

- **Dispersão;**
- **Absorção e Atenuação;**
- **Reflexão;**
- **Refração; e**
- **Difração.**

a. DISPERSÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A potência ou energia que emana de uma fonte é projetada em todas as direções. Isso, no entanto, não quer dizer que essa projeção é uniforme. Na realidade, no caso de algumas fontes altamente direcionais, a quantidade de energia irradiada ao longo de algumas direções é desprezível, ou mesmo nula.

Imaginemos uma fonte puntiforme que irradia uniformemente em todas as direções. Se considerarmos uma esfera do espaço que envolva esta fonte, o princípio da **conservação da energia** nos assegura que toda a energia irradiada deverá cruzar a superfície esférica. Esta afirmativa é verdadeira, qualquer que seja o tamanho da esfera considerada.

Em consequência, pode ser facilmente visualizada a forma pela qual a mesma intensidade de energia terá que preencher espaços cada vez maiores, resultando em densidades de potência cada vez menores. Esta densidade a uma distância R qualquer da fonte emissora será:

$$p = \frac{P}{4\pi R^2}$$

Onde p é a densidade de potência a uma distância R da fonte que irradia uma potência P .

Este princípio aplica-se, ainda, ao caso da irradiação direcional, modificada por um fator de ganho, G .

$$p = \frac{GP}{4\pi R^2}$$

Um outro tipo de dispersão é a que ocorre quando a energia é de alguma forma contida, de modo que a sua propagação se faça de **maneira anômala**, segundo dutos ou canais. Neste caso, conhecido como **dispersão cilíndrica**, as perdas se tornam

inversamente proporcionais à distância, se considerarmos que a seção reta do duto ou canal de propagação é constante. Então, teremos:

$$p = \frac{P}{(2\pi r)R}$$

Traduzindo, na prática, as equações acima, verificamos que, na dispersão esférica, cada vez que a distância dobra, ocorre uma perda de potência de 6 dB. No caso da dispersão cilíndrica, cada vez que a distância é dobrada, há uma perda de 3 dB.

As Leis da dispersão, como pode ser observado, aplicam-se igualmente às ondas eletromagnéticas e acústicas, e são independentes da frequência.

Não deve ser esquecido que, no caso de sensores ativos, a onda deve percorrer duas vezes a distância que separa a fonte do alvo, introduzindo, portanto, os fatores multiplicadores correspondentes nas Leis da dispersão apresentadas.

b. ABSORÇÃO E ATENUAÇÃO

A propagação de ondas através de qualquer meio diferente do vácuo é sempre acompanhada de perdas causadas pela absorção de potência pelas partículas do meio. Assim, apenas as ondas eletromagnéticas ao se propagarem no vácuo não são atenuadas pela absorção.

As ondas eletromagnéticas, ao se propagarem na atmosfera, são afetadas pela absorção. O vapor-d'água e as moléculas de oxigênio existentes na atmosfera são os principais responsáveis pela absorção de energia. Os efeitos da absorção crescem com o aumento da frequência.

Perturbações atmosféricas, tais como chuvas e nuvens, que aumentam muito a densidade de umidade do ar, causam atenuações substanciais nas frequências mais elevadas da faixa de rádio e microondas.

Como a densidade da atmosfera diminui com o aumento da altura, a absorção das ondas de rádio e radar será, também, influenciada pela inclinação do feixe. Com maiores inclinações para o alto, a porção da trajetória na parte inferior, mais densa, da atmosfera é menor, resultando numa absorção total menor.

Em frequências das faixas SHF e EHF a absorção atmosférica torna-se um problema, além do que existe a **difração** devido à presença de gotas de água de chuva, moléculas de oxigênio e vapor-d'água (obstáculos de dimensões praticamente iguais aos comprimentos de onda).

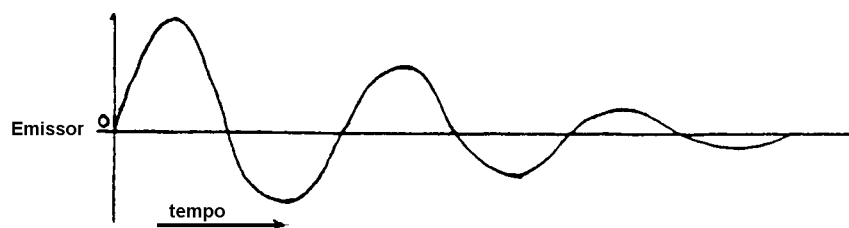
As ondas terrestres, além de perderem energia para o ar, também perdem para o terreno (figura 34.12). A onda é refratada para baixo e parte de sua energia é absorvida. Como resultado dessa primeira absorção, o bordo anterior da onda é curvado para baixo, resultando numa nova absorção, e assim por diante, com a onda perdendo energia gradualmente. A absorção é maior sobre uma superfície que não seja boa condutora. Relativamente pouca absorção ocorre quando a onda se propaga sobre a superfície do mar, que é uma excelente condutora. Assim, as ondas terrestres de frequência muito baixa percorrem grandes distâncias sobre os oceanos.

Figura 34.12 – Absorção da Onda Terrestre pelo Terreno

Também as ondas refletidas que sofrem mais de uma reflexão perdem energia por absorção quando de sua reflexão intermediária na Terra. Além disso, as ondas refletidas sofrem absorção quando de sua reflexão na ionosfera, cujo grau depende da densidade de ionização, da frequência da onda eletromagnética e da altura. A absorção ionosférica máxima ocorre aproximadamente na frequência de 1.400 kHz.

Quanto à penetração na água, as ondas eletromagnéticas são muito absorvidas pelo oceano. Apenas as frequências extremamente baixas (ELF), muito baixas (VLF) e baixas (LF) podem conseguir alguma penetração no meio aquático, assim mesmo às expensas de elevadas potências de transmissão. Estas ondas, após percorrerem alguns milhares de milhas, penetram na água até profundidades que permitem o recebimento de sinais por submarinos imersos até 100 pés (VLF), como no sistema Omega de navegação. Recentes experiências, realizadas na área das ELF, indicam a possibilidade de recebimento de mensagens por submarinos em qualquer profundidade e sem limitação de velocidade.

Atenuação é a diminuição da intensidade da onda com a distância. Da Física, sabemos que a intensidade do campo varia inversamente com o quadrado da distância. Essa diminuição da intensidade é que se denomina **atenuação**. Quanto mais distante do emissor, mais fraco é o campo eletromagnético, como mostrado na figura 34.13.

Figura 34.13 – Atenuação da Onda Eletromagnética

c. REFLEXÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS. A IONOSFERA E AS ONDAS DE RÁDIO

A reflexão é um fator indispensável para o funcionamento de sensores ativos, como o radar.

Quando uma onda encontra a superfície limítrofe entre dois meios de densidades diferentes, uma parte da energia é refletida, outra parte da energia é absorvida pela superfície refletora e uma terceira porção pode penetrar, refratar-se e se propagar no segundo meio. As quantidades de energia envolvidas nesses três processos irão depender, basicamente, da natureza da superfície, das propriedades do material e da frequência da onda. No caso das ondas EM, a orientação da polarização do campo elétrico em relação à superfície também exercerá influência.

As ondas eletromagnéticas são afetadas pela reflexão e pelo espalhamento. O emprego das ondas EM na detecção pode ser grandemente prejudicado pelos ecos indesejáveis que obscurecem o alvo, tais como grandes massas de terra, retorno do mar, aguaceiros e nevascas, fenômenos estes que influenciam, principalmente, as frequências mais elevadas.

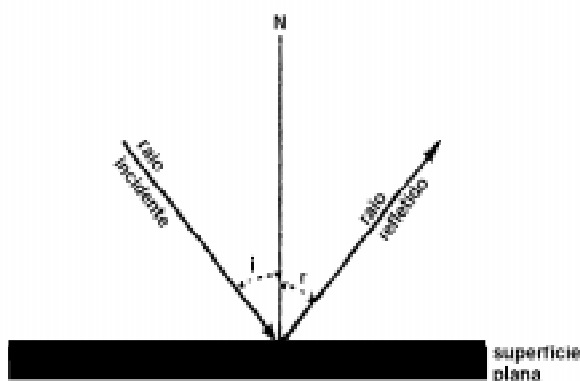
Uma outra consequência da reflexão é o aparecimento de zonas de desvanecimento nos feixes dos radares, efeito que foi abordado com maiores detalhes no Capítulo 14 (Volume I), que trata desse sensor.

Então, quando uma onda de rádio encontra uma superfície, se as condições forem favoráveis ela será refletida de forma “especular” (como em um espelho), da mesma maneira que ocorre com uma onda luminosa, que também é uma onda eletromagnética, cumprindo-se as Leis:

- 1 – O raio de incidência e o raio de reflexão estão no mesmo plano; e
- 2 – O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

A figura 34.14 mostra a reflexão em uma superfície plana. A relação entre a intensidade do campo incidente e a do campo refletido denomina-se **coeficiente de reflexão**.

Figura 34.14 – Reflexão da Onda Eletromagnética em uma Superfície Plana



A superfície terrestre reflete ondas de todas as frequências. As baixas frequências possuem grande penetração e as ondas são muito menos refletidas. Em frequências muito baixas, sinais de rádio podem ser recebidos a até alguns metros abaixo da superfície do mar, como vimos.

Árvores, edifícios, montanhas e outros objetos podem causar reflexões de ondas de rádio. Para as frequências baixas, e mesmo médias, essas reflexões podem ser desprezadas. Já nas altas frequências, elas se tornam importantes, sendo o fenômeno, por vezes, aproveitado como base de sistemas eletrônicos, como o radar. Quando o fenômeno é indesejável, como nas comunicações, costuma-se usar antenas direcionais, que, pelo menos, minimizam os efeitos da reflexão.

Nas frequências mais altas, ocorrem reflexões pela chuva e por nuvens densas. Também, a onda de rádio de frequência muito alta (VHF), ou superior, pode ser refletida pelos limites bem definidos (frentes) entre massas de ar frias e quentes, quando o ar quente e úmido flui sobre o ar frio mais seco. Se a superfície entre as massas de ar é paralela à superfície da Terra, as ondas de rádio podem percorrer distâncias muito maiores que as normais.

Sempre que uma onda é refletida pela superfície terrestre, dá-se uma mudança de fase, que varia com a condutividade do terreno e a polarização da onda, alcançando um máximo de 180° para uma onda polarizada horizontalmente, quando refletida pela água do mar (que considera-se como tendo condutividade infinita).

A atmosfera possui várias superfícies refletoras, a principal das quais é a **ionosfera**.

Uma onda, emitida por um transmissor, poderá propagar-se até o aparelho receptor acompanhando a superfície da Terra. A onda que faz esse trajeto denomina-se, como vimos, onda terrestre. Porém, conforme estudado, a onda pode alcançar o receptor através de uma ou mais reflexões, denominando-se, então, onda refletida.

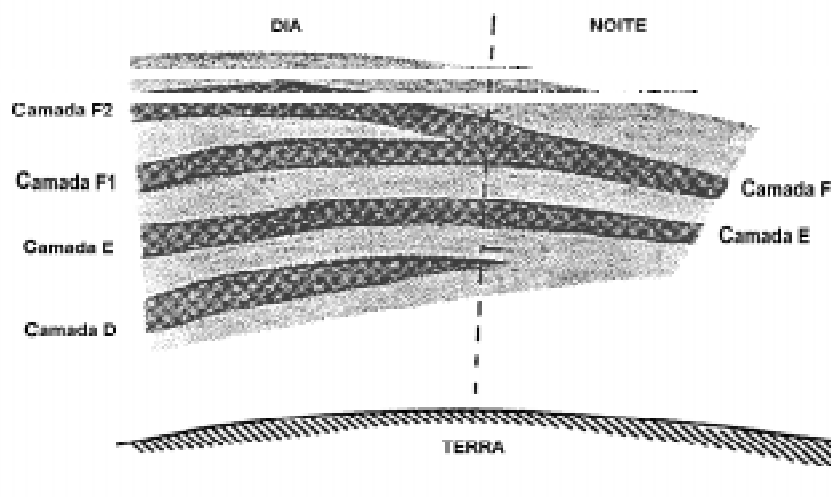
Quando uma onda terrestre e uma onda refletida chegam ao mesmo tempo a um receptor, o sinal total é a soma vetorial das duas ondas. Se os sinais estão em fase, uma onda reforça a outra, produzindo um sinal mais forte. Se há diferença de fase, os sinais tendem a cancelar-se mutuamente, sendo o cancelamento completo quando a **diferença de fase** é de 180° e os dois sinais têm a mesma **amplitude**. Essa interação tem o nome de interferência de ondas. A diminuição de sinal no receptor devido a essa interação de ondas terrestres e refletidas é denominada **“fading”** (desvanecimento).

Sob certas condições, uma porção da energia eletromagnética de uma onda de rádio poderá ser refletida de volta à superfície terrestre pela **ionosfera**, uma camada carregada de partículas entre 90 e 400 km de altura. Quando isso ocorre, denominamos a onda refletida de **onda celeste**.

A parte superior da atmosfera terrestre durante o dia é ininterruptamente bombardeada pelos raios ultravioletas solares. Essas ondas luminosas de elevada energia fazem com que os elétrons das moléculas gasosas da parte superior da atmosfera tornem-se ativos e libertem-se de suas moléculas, passando a formar as **camadas ionizadas**. Essas camadas alcançam sua maior intensidade quando o Sol atinge sua altura máxima.

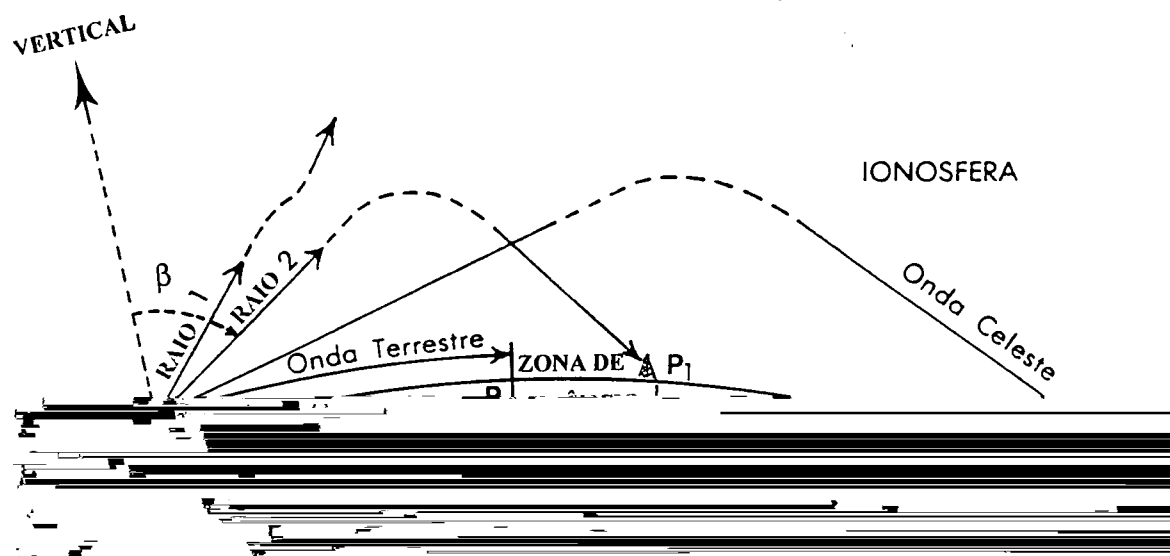
Existem quatro **camadas ionosféricas** de importância no estudo da propagação das ondas de rádio (figura 34.15):

Figura 34.15 – Camadas Ionosféricas



Camada F – É a mais alta, onde a densidade do ar é tão baixa que os gases se apresentam, na maioria dos casos, como átomos separados, em vez de moléculas. Aí há uma forte ionização produzida pela radiação solar. Acima dela, há um decréscimo de ionização devido à falta de átomos; abaixo dela, também há um decréscimo, porque o agente ionizador (radiação solar) já foi absorvido. Durante o dia, a camada se divide em duas subcamadas: **F1** e

Figura 34.16 – Padrão de Irradiação



A **onda terrestre** mostrada na figura 34.16 propaga-se acompanhando, de forma aproximada, a curvatura da Terra, enquanto perde energia, através do **efeito absorção**, tendo como **alcance máximo** o ponto P_2 . A zona entre o **alcance máximo** da onda terrestre e o **alcance mínimo** da onda celeste é denominada **zona de silêncio**. A distância entre o transmissor e o ponto P_1 é denominada **distância de silêncio**, que significa a distância mínima para o recebimento de uma **onda celeste**. Dentro da **distância de silêncio** nenhuma onda refletida na ionosfera é recebida.

As reflexões aumentam o alcance da onda. A distância máxima em que um sinal refletido na camada **E** pode ser recebido é de, aproximadamente, 1.400 milhas náuticas (para isso é necessário que o sinal deixe o transmissor em direção quase horizontal). Como a camada **F** é mais alta, suas reflexões são recebidas a maiores distâncias; neste caso, a distância máxima de recepção é de cerca de 2.500 milhas.

Entretanto, as ondas terrestres de baixas frequências também podem ter alcances comparáveis e até maiores, como no caso das ondas **VLF** (frequências muito baixas) usadas no sistema Omega.

d. REFRAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Sempre que uma frente de onda se propaga por um meio onde ocorre uma variação de densidade, haverá um encurvamento do feixe. As ondas eletromagnéticas são refratadas na atmosfera devido a pequenas diferenças de velocidade de propagação, em consequência da existência de gradientes de densidade. Como era de se esperar, este fenômeno ocorre, principalmente, na baixa atmosfera. Na faixa do espectro de rádio e de micro-ondas, os efeitos da refração podem se tornar extremamente importantes, nas regiões mais baixas da atmosfera, dependendo das variações de temperatura, umidade e pressão. Alcances extraordinários nos radares, recepção de sinais de TV oriundos de emissoras de outros Estados, ou, algumas vezes, de outros países, são testemunhos do fenômeno da refração.

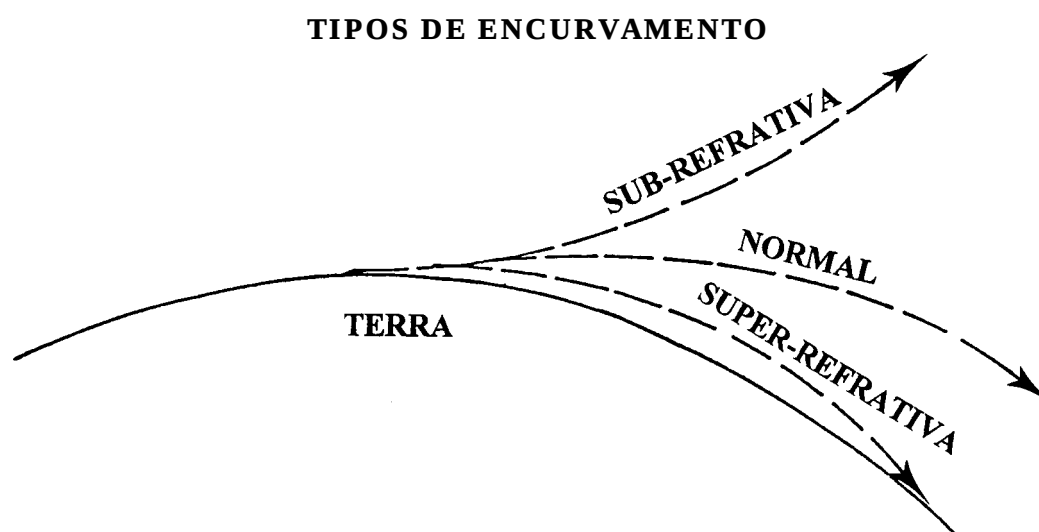
A atmosfera pode refratar as ondas de rádio e radar. O coeficiente que mede esse poder se designa por "**N**" (expressa-se a refração em unidades **N**) e é função da densidade

do ar e da velocidade de propagação da energia nessa mesma massa de ar. Podemos dizer, também, que é função da temperatura, da umidade e da pressão (que, em outras palavras, servem para caracterizar a densidade do ar). Nas camadas mais baixas da atmosfera, a umidade, a pressão e a temperatura decrescem com a altitude nas primeiras centenas de pés de altura. O gradiente nessas camadas é da ordem de 12 unidades **N** por mil pés. Este valor é denominado “refração normal” e tem como consequência um suave encurvamento dos feixes **EM**, quase acompanhando a curvatura normal da superfície terrestre (a refração da camada inferior da atmosfera estende o horizonte rádio à distância de 15% a mais que o horizonte visual). O efeito é o mesmo que se o raio da Terra fosse cerca de 1/3 maior, e não houvesse refração. Quando o índice de refração decresce com variações maiores que a normal, por exemplo 50 unidades “**N**” por mil pés de ascensão, o encurvamento do feixe **EM** é sensivelmente maior.

Como sabemos, a atmosfera não é homogênea. Conseqüentemente, os gradientes de refração variam e, como resultado, geram zonas onde há refração normal, super-refração ou sub-refração (figura 34.17). Tais coeficientes variáveis podem causar a um feixe de ondas **EM**:

- encurvamento brusco, reduzindo o alcance; e
- a subdivisão de feixe em diversas partes, causando zonas de sombra e dutos, falhas e concentração de energia.

Figura 34.17 – Efeitos da Refração

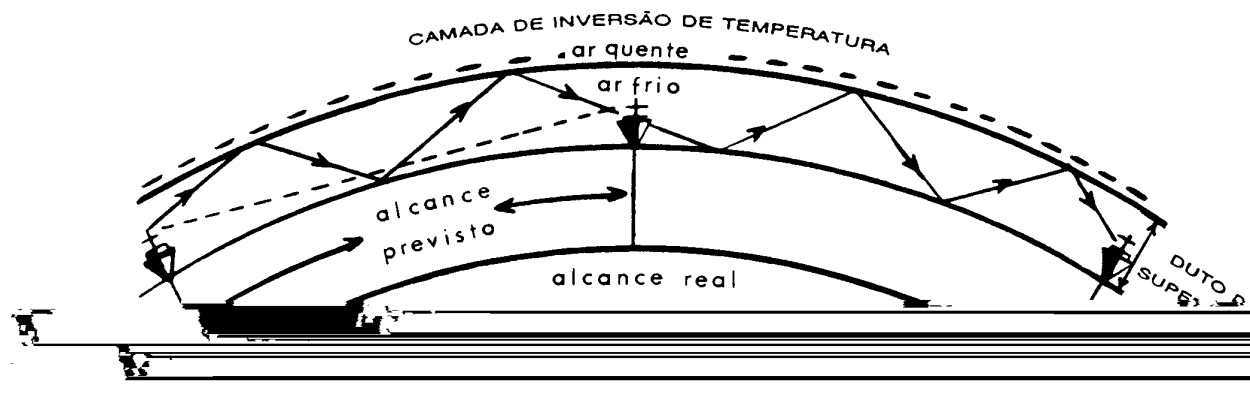


As **falhas**, ou **zonas de sombra**, nada mais são que porções do espaço aéreo, dentro de uma região onde se espera propagação normal, mas que, devido à existência de camadas de sensível refração, deixam de ser energizadas ou iluminadas pela transmissão **EM**. Assim, por exemplo, um alvo situado numa dessas falhas poderá ser detectado visualmente, antes de sê-lo pelos radares.

Os **dutos**, como o próprio nome indica, são regiões onde a energia é aprisionada, confinada e concentrada por efeito de refrações sucessivas, de modo a atingir regiões bem além do horizonte normal e, em consequência, possibilitando a detecção de alvos a distâncias que, normalmente, estariam além do alcance nominal dos sensores ou das comunicações.

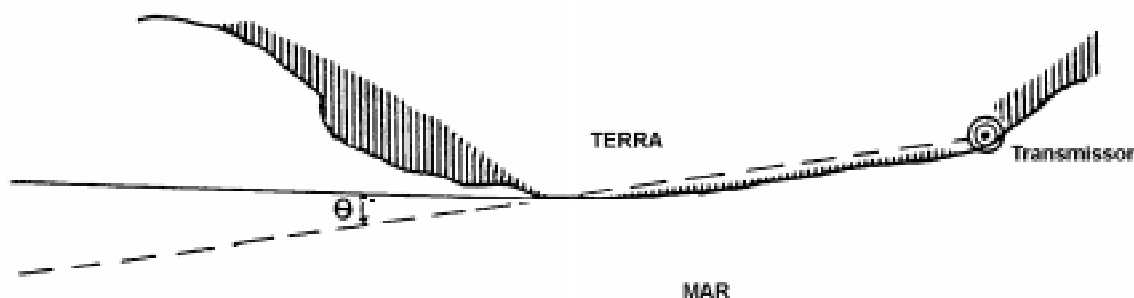
Ocasionalmente, sob condições atmosféricas bastante especiais e pouco frequentes, poderá ocorrer o fenômeno conhecido como **“duto de superfície”**, fazendo com que a onda terrestre atinja distâncias muito além de seus limites normais de recepção. O **“duto de superfície”** é formado entre a superfície da Terra e a parte inferior de uma camada de ar dentro da qual existe uma forte inversão de temperatura. Devido à largura do “duto” ser necessariamente maior do que o comprimento da onda para ser atuante, o fenômeno está, em geral, associado às mais altas frequências de rádio e radar (figura 34.18). O fenômeno ocorre mais vezes nas Latitudes tropicais, especialmente nas regiões do Pacífico, onde um “duto de superfície”, uma vez formado, persiste por muitas horas e, em certas ocasiões, até mesmo por vários dias.

Figura 34.18 – Duto de Superfície



Quando a onda de rádio terrestre cruza obliquamente a linha limite entre terrenos de condutividade diferente, há uma refração. Isso se manifesta, principalmente, na costa (pois há uma máxima variação de condutividade entre a terra e o mar) e, por isso, recebe o nome de **refração da costa** ou **efeito terrestre** (figura 34.19).

Figura 34.19 – Refração da Costa



Na figura, a linha tracejada representa o trajeto da onda de rádio a partir do transmissor, sem considerar a **refração da costa**. Devido a esta refração, a onda muda de caminho ao cruzar a linha da costa, passando a seguir a linha cheia. O ângulo θ é o **ângulo de refração**, que pode alcançar valores de 4° a 5° . A **refração da costa** é variável com o comprimento de onda e diminui com o seu aumento. É praticamente desprezível para comprimentos de onda de mais de 3.000 metros e, geralmente, é maior quando a costa é retilínea e a direção de propagação forma um ângulo muito agudo com ela. A **refração da costa** é zero quando a onda é perpendicular à direção da costa. Para ondas de 800 a 1.000 m

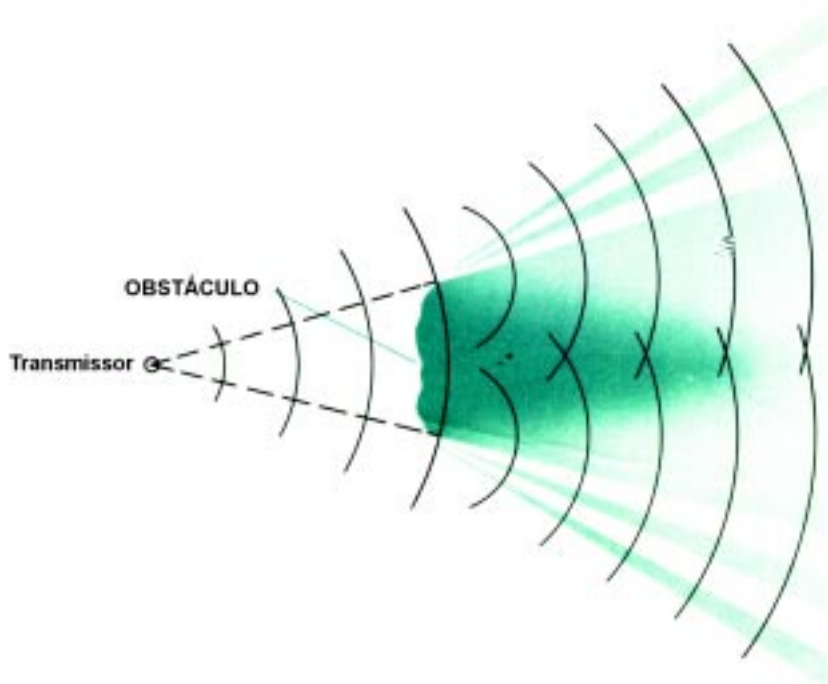
de comprimento (375 a 300 kHz), e para ângulos com a linha da costa de menos de 10°, foram obtidos, experimentalmente, erros de 4° a 5°. É importante levar em conta este efeito no caso das marcações radiogoniométricas, pois os radiofaróis operam na faixa acima citada.

e. DIFRAÇÃO

A difração é um fenômeno que ocorre com ondas acústicas e com ondas eletromagnéticas, bem como, também, com partículas que se comportam como ondas. É a dispersão da onda em torno de um obstáculo.

Seja a figura 34.20, onde temos um transmissor emitindo ondas eletromagnéticas, que encontram em sua propagação um objeto opaco. Por trás do obstáculo se formará uma zona de interferência (onde as ondas se sobrepõem, podendo tanto se reforçarem como se cancelarem), enquanto que a parte desobstruída do bordo anterior da onda prossegue em sua direção original. Quando a onda incide nos limites do objeto, curva-se para trás do mesmo, de maneira que uma pequena quantidade de energia é propagada para dentro da zona de sombra (área de interferência). No caso de ondas de luz, isso resultará em que os limites do objeto não apresentarão sombra nítida, e sim um borrão, formando-se, atrás da obstrução, uma área de pouca luminosidade, porém, certamente, mais clara que a ausência total de luz.

Figura 34.20 – Difração



Portanto, **difração** é a mudança da direção da onda quando a mesma passa junto a um obstáculo. Seu efeito prático é uma diminuição na potência do sinal na área de sombra, e um padrão perturbado numa curta distância fora dessa área sombreada. A difração tem valor máximo quando o comprimento do obstáculo é igual ao comprimento da onda. A quantidade de difração é inversamente proporcional à frequência, sendo maior nas frequências muito baixas. Na **zona de sombra** o sinal de rádio somente será recebido de forma fraca e entrecortada.

A difração, portanto, é uma outra forma de encurvamento do feixe, que ocorre quando a onda passa pela borda de um objeto opaco (insensível à onda de rádio), a qual causa uma deflexão da onda na direção do objeto. Como o grau de difração é maior nas frequências mais baixas, a difração é, então, mais significativa para as ondas de rádio, em comparação com as ondas de radar.

Assim, por exemplo, ondas de rádio viajando sobre a superfície da Terra sofrem uma difração sobre a sua curvatura, o que, somado à refração, faz com que elas se propaguem além do horizonte geográfico. Nas VLF podem ser conseguidas comunicações de âmbito mundial. Por outro lado, a difração não contribui para que as frequências de radar sejam estendidas muito além da linha de visada.

34.5 TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

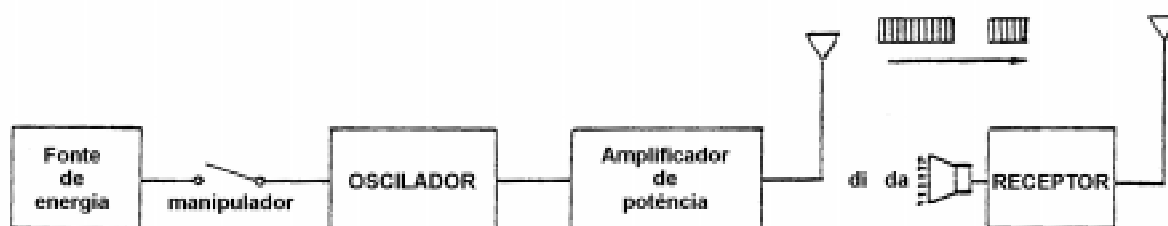
a. MODULAÇÃO DAS ONDAS DE RÁDIO

Quando uma série de **ondas eletromagnéticas** é transmitida em frequência e amplitude constantes, ela é denominada de **onda contínua**, ou, abreviadamente, **CW** (do inglês “continuous wave”).

Estas ondas só poderão ser ouvidas em **VLF** (frequências muito baixas), quando produzirão um forte zumbido no receptor. Entretanto, usando no receptor um **oscilador de batimento** (ou **oscilador de frequência de batimento**), poderia ser ouvido um tom constante de audiofrequência. Ao receber um sinal de radiofrequência, o **oscilador de batimento** (“beat frequency oscillator”) gera um sinal com uma frequência diferente da do sinal recebido, dentro da faixa audível (de 20 a 20.000 Hz), que pode ser percebido pelo ouvido humano.

Contudo, um sinal contínuo não tem significado algum, mas pode-se formar um código se variarmos, por meio de interrupções, esse sinal. É isso que se faz em radiotelegrafia. Interrompe-se a produção da onda contínua não modulada, por meio de uma chave, denominada **manipulador**. O código usado é constituído de sinais longos (traços) e curtos (pontos) e denomina-se Código Morse. Um transmissor de radiotelegrafia de onda contínua não modulada é mostrado na figura 34.21. A transmissão em onda contínua é conhecida como transmissão em **CW** (“continuous wave”).

Figura 34.21 – Diagrama em Bloco de um Transmissor CW



Devido ao fato de uma onda contínua não poder conduzir muitas informações, na **Navegação Eletrônica** ela é quase sempre modificada, ou seja, modulada de alguma forma. Quando isso ocorre, a onda **CW** passa a ser chamada de **onda portadora**.

Na prática, existem três maneiras para modularmos uma onda **CW** para que conduza as informações desejadas:

- Modulação em Amplitude;
- Modulação em Frequência; e
- Modulação em Pulsos.

Na **modulação em amplitude (AM)**, a amplitude da **onda portadora** (onda de radiofrequência) é modificada pela amplitude da **onda moduladora** (geralmente, porém nem sempre, uma onda de audiofrequência). A figura 34.22 mostra este tipo de modulação. O processo no transmissor é o seguinte: após terem sua potência aumentada no **amplificador de áudio**, as ondas sonoras vão ao **modulador**, onde essa corrente elétrica de baixa frequência é somada à corrente elétrica de alta frequência das ondas de radiofrequência que vêm do **amplificador de RF**. Ou seja, a modulação se dá pela soma das amplitudes das duas ondas. A corrente elétrica que sai do **modulador** é, então, a soma das duas ondas (a onda de áudio mais a onda de radiofrequência). Esta onda, após mais um estágio de amplificação, é transmitida pela **antena** (figura 34.23). No receptor, o sinal é **demodulado**, pela remoção da onda moduladora que, em caso de voz irradiada, é amplificada e, então, relatada ao ouvinte através de um alto-falante. Este tipo de modulação é bastante comum, sendo a forma usual de modulação na faixa de irradiação das estações comerciais **AM**.

Figura 34.22 – Modulação em Amplitude

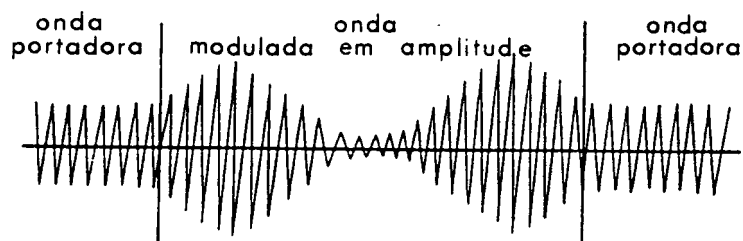
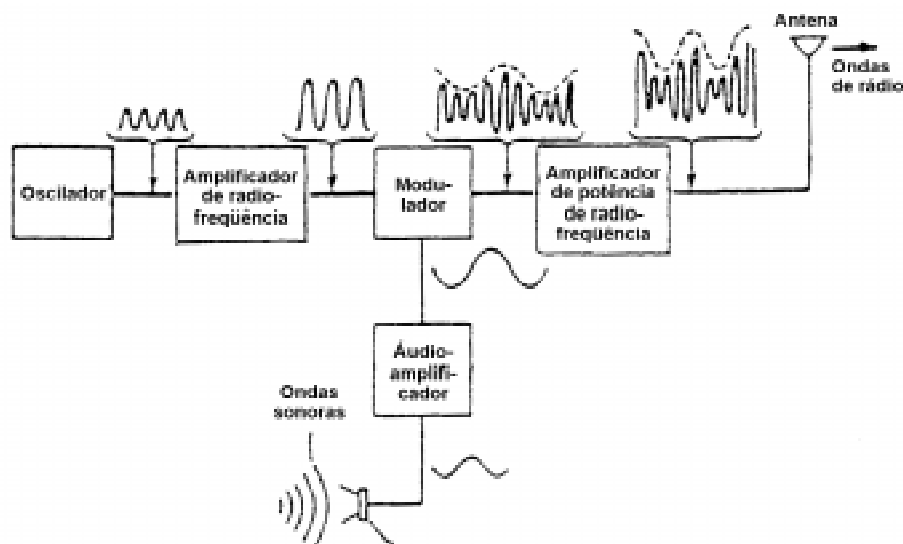


Figura 34.23 – Diagrama em Bloco de um Transmissor de Onda Modulada em Amplitude (AM)



Na **modulação em frequência (FM)**, a frequência da onda **portadora** é modificada pela frequência da onda **moduladora** (geralmente, mas nem sempre, uma onda de **audiofrequência**), conforme mostrado nas figuras 34.24 e 34.25. É a modulação da onda de radiofrequência (portadora) de maneira que sua frequência instantânea difere da frequência da onda de áudio (moduladora) de uma quantidade proporcional à amplitude instantânea da moduladora. Este tipo de modulação é usado pelas estações de rádio comerciais em **FM** e, também, pelos canais de som das estações de TV. Uma outra modalidade de modulação em frequência é a denominada **modulação em fase (PhM = “phase modulation”)**. Neste modo, o ângulo de fase da **portadora** é desviado de seu valor original de uma quantidade proporcional à amplitude da **moduladora**.

Figura 34.24 – Modulação em Frequência

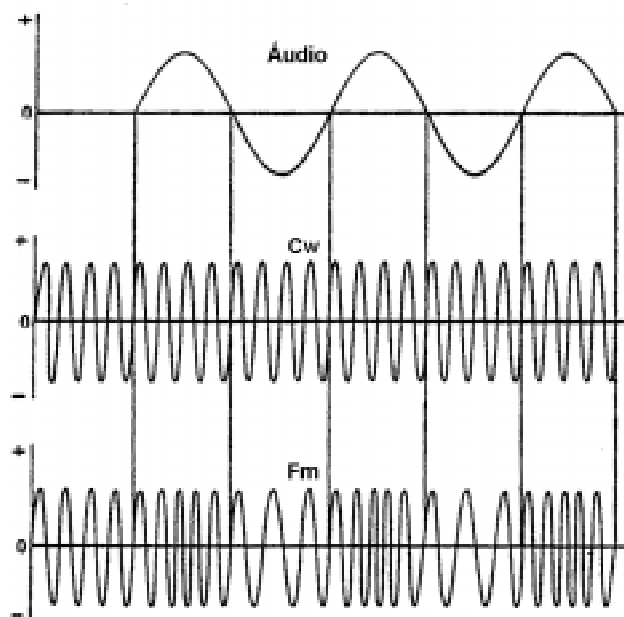
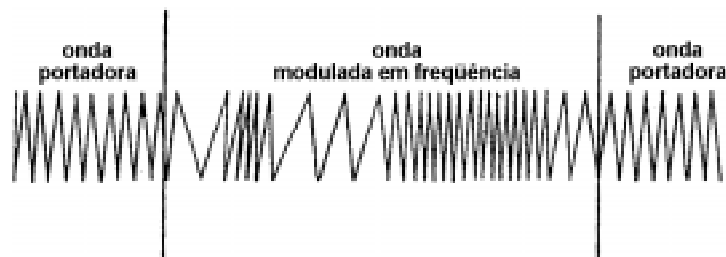
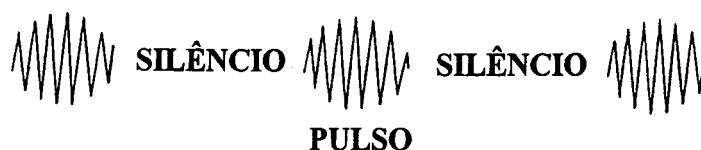


Figura 34.25 – Onda Modulada em Frequência



Na **modulação por pulsos (PM)** não existe onda moduladora. A onda contínua é transmitida de forma interrompida. Pulsos extremamente rápidos de energia são transmitidos, seguidos por períodos relativamente longos de “silêncio”, durante os quais não há transmissão. A figura 34.26 mostra este tipo de modulação, que é usado na maioria dos radares de navegação marítima, inclusive radares de busca de superfície. A modulação por pulsos é, também, empregada em alguns auxílios eletrônicos de longo alcance, dos quais o mais conhecido é o LORAN.

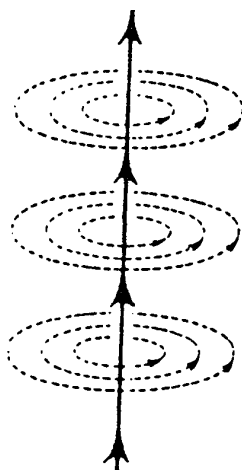
Figura 34.26 – Modulação por Pulsos

b. TRANSMISSÃO DAS ONDAS DE RÁDIO. ANTENAS DE TRANSMISSÃO

Como já mencionado anteriormente, a onda eletromagnética é gerada em um oscilador. No caso das ondas de rádio, a saída do oscilador é reforçada em potência por um amplificador, sendo, então, modulada na unidade moduladora. Na transmissão por voz, a unidade moduladora incorpora um microfone, que converte a onda sonora em onda moduladora. A onda de rádio, agora modulada, vai a um segundo amplificador e é, finalmente, transmitida para o espaço através de uma antena. Se a esses componentes juntarmos uma fonte de energia e um recurso para controlar a frequência da onda gerada pelo oscilador, teremos todos os componentes de um transmissor (cujo diagrama em bloco é mostrado na figura 34.23).

Os tipos de transmissão e as designações das emissões de rádio constam do Apêndice a este Capítulo.

Quando uma corrente elétrica percorre um condutor, cria-se em torno dele, como vimos, um campo magnético. Se o condutor está na vertical e o deslocamento dos elétrons é de baixo para cima, conforme mostrado na figura 34.27, o sentido do campo magnético é o contrário ao dos ponteiros de um relógio. Mudando-se a polaridade da corrente elétrica, o sentido do campo magnético se inverterá, ou seja, será o sentido horário. Este é o princípio de irradiação de uma antena transmissora vertical. Devido à rapidez com que se produzem, os campos eletromagnéticos formam-se junto à antena, libertam-se e se propagam no espaço em ondas concêntricas, com a velocidade da luz. Já foi dito, também, que o campo elétrico e o campo magnético são perpendiculares. Portanto, se o campo magnético é horizontal, o campo elétrico será vertical, ou seja, a onda é polarizada verticalmente.

Figura 34.27 – Campo Magnético Gerado por um Condutor (Antena) Percorrido por uma Corrente Elétrica

Para uma antena vertical, a potência do sinal é a mesma em todas as direções horizontais. A menos que a polarização passe por uma mudança durante o percurso da onda, sinais mais fortes serão recebidos de uma antena vertical quando a antena receptora também for vertical.

Para baixas frequências, a irradiação de um sinal acontece pela interação da antena com a terra. Para uma antena vertical, a eficiência aumenta com o seu maior comprimento. Para uma antena horizontal, a eficiência aumenta com a maior distância entre a antena e a terra.

Na prática, a eficiência máxima de uma antena horizontal se dá quando a distância antena–terra é a metade do comprimento da onda. Esta é a razão porque se elevam as antenas de baixas frequências a grandes alturas. Entretanto, para as frequências mais baixas, essa elevação se torna impraticável. Por exemplo, para uma frequência de 10 kHz ela teria que ser elevada a uma altura de cerca de 8 milhas náuticas (metade do comprimento da onda). Por isso é que há dificuldades para projetar antenas eficientes para baixas frequências.

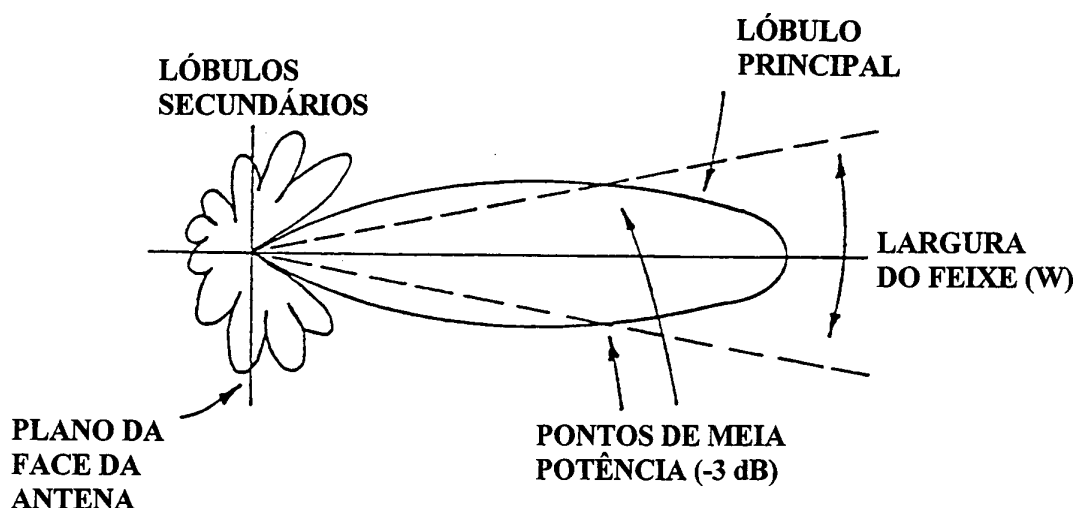
Para frequências mais altas, uma das saídas não é ligada à terra. Ambas as saídas do amplificador final de radiofrequência são ligadas a uma antena dipolo (bipolar). Essa antena não é somente eficiente, como, também, altamente direcional, aumentando, assim, a potência do sinal transmitido numa determinada direção. As antenas dipolo de meia onda, tanto as horizontais, como as verticais, são antenas direcionais. Seus máximos de irradiação ocorrem perpendicularmente às antenas. O mínimo, ou nulo, está alinhado com o eixo da antena.

Assim, a energia irradiada de uma antena é distribuída no espaço segundo **padrões de irradiação**, compostos de **lóbulos** e **nulos**.

O projeto de uma antena direcional busca tornar os lóbulos laterais, ou secundários, os menores possíveis (figura 34.28). Alguns parâmetros que influem nos padrões de irradiação das antenas são:

- Polarização;
- ganho da antena; e
- largura de feixe.

Figura 34.28 – Diagrama de Irradiação



A **polarização** de uma antena é dada pela direção do campo elétrico em relação à Terra.

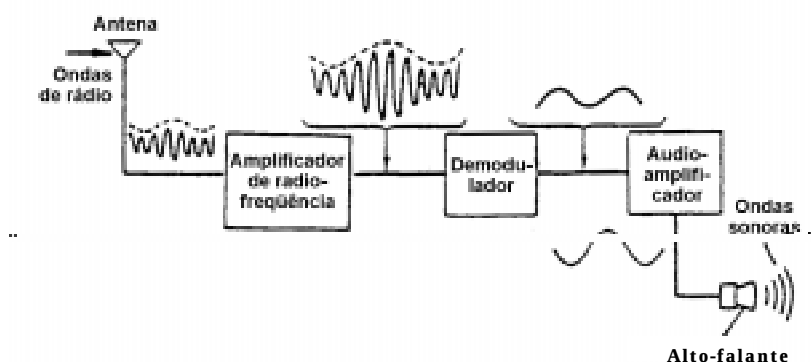
O **ganho** da antena é a relação entre as tensões produzidas, em um determinado ponto, pela antena considerada e uma antena isotrópica. O ganho é, em geral, expresso como uma relação entre potências; é, então, proporcional ao quadrado da relação entre tensões. Uma antena com ganho 2 terá, portanto, um ganho de potência 4. Isto significa que, para produzir igual intensidade de campo na mesma distância, uma antena isotrópica teria que ser alimentada com uma potência quatro vezes maior. Os valores típicos de ganhos de antenas variam de 100 a 10.000 (20 dB a 40 dB).

A **largura de feixe (W)** de uma antena é a medida angular entre as direções nas quais a potência transmitida ou recebida é a metade da potência máxima do lóbulo. Esses são chamados pontos de 3 dB. O Apêndice a este Capítulo traz uma informação sobre decibel (dB) e seu uso.

Algumas considerações sobre a relação existente entre ganho, tamanho da antena e largura de feixe podem ser úteis. Para uma determinada frequência, o ganho cresce com a área da antena numa razão aproximadamente direta. Do mesmo modo, qualquer dimensão de uma antena aumentada causará um estreitamento do feixe. Podemos ver, portanto, que antenas grandes estão normalmente associadas a ganho elevado e feixe estreito.

A figura 34.29 mostra o diagrama de um receptor de fonia. As ondas eletromagnéticas que vêm do transmissor, ao baterem na antena, imprimem uma pressão elétrica, que provoca uma corrente alternada de intensidade muito fraca. Essa corrente é, então, aumentada de intensidade pelo amplificador de radiofrequência. Daí, ela é levada ao demodulador, onde são separadas as radiofrequências das audiofrequências, ou seja, a corrente alternada de audiofrequência que contém a mensagem é separada da portadora. A corrente de audiofrequência é levada ao amplificador de áudio, que lhe aumenta a potência, e, por fim, no alto-falante são emitidas ondas sonoras (que correspondem às ondas sonoras que incidem no microfone do transmissor).

Figura 34.29 – Diagrama em Bloco de um Receptor de Fonia (RF Sintonizada)



Os receptores devem possuir uma série de qualidades para que desempenhem a contento as tarefas para as quais foram construídos:

1. A **faixa de freqüências** deve estar de acordo com as ondas eletromagnéticas que deve receber;
2. deve possuir a capacidade de separar sinais da freqüência desejada de outros sinais de freqüências aproximadas; a essa característica dá-se o nome de **seletividade**;
3. **sensibilidade**: deve possuir meios para detectar e amplificar um sinal fraco, de maneira a extrair as informações desejadas;
4. **estabilidade**: é a capacidade de resistir à derivação das condições ou valores nos quais foi sintonizado, permanecendo na freqüência em que foi ajustado; e
5. **fidelidade**: deve repetir exatamente as características essenciais do sinal original (precisão na reprodução das características da onda moduladora original).

Algumas dessas características podem ser conflitantes. Por exemplo, se aumentarmos demais a seletividade de um receptor, podemos causar uma perda de fidelidade; se diminuirmos ao máximo uma abertura de faixa de um receptor de radiofonia, poderá acontecer do mesmo não receber todas as freqüências de áudio, e os sons mais graves e os mais agudos poderão não ser apresentados no alto-falante.

Os receptores podem possuir dispositivos adicionais, como controle automático de volume, que se destina a minimizar os efeitos do **“fading”**; controle automático de ruídos, que tem como finalidade diminuir os ruídos de fundo; etc.

Os sinais indesejáveis na recepção de uma onda denominam-se **interferências**. As interferências podem ser produzidas pelo homem, intencionalmente ou não, ou por fontes naturais. As interferências intencionais, no sentido de obstruir as comunicações, ou interromper

a transmissão ou recepção de informações, tais como o bloqueio, são objeto da Guerra Eletrônica. As interferências produzidas pelo homem não intencionalmente e as de fontes naturais denominam-se **ruídos**.

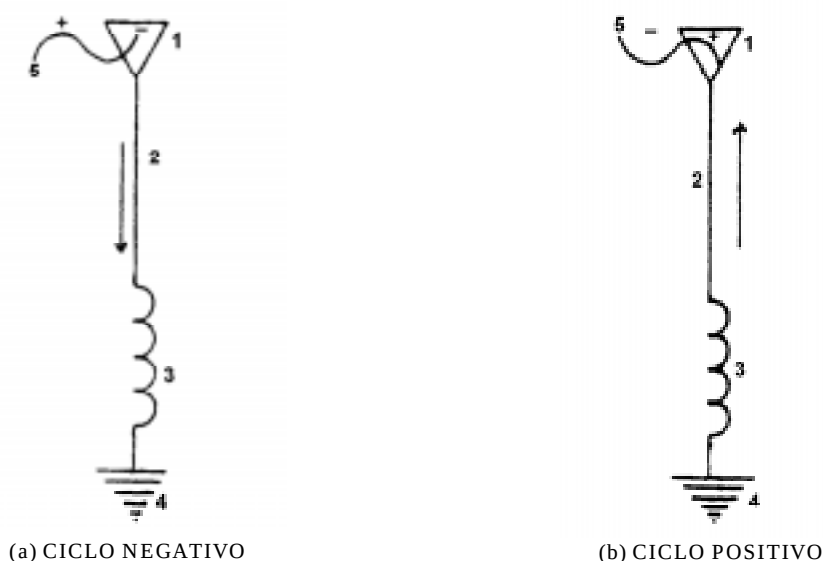
Os ruídos do próprio receptor (ruídos internos) são provocados pelos circuitos de corrente alternada, pela vibração de elementos eletrônicos, por maus contatos ou componentes defeituosos, etc. Os ruídos externos produzidos pelo homem não intencionalmente são provenientes de motores elétricos, geradores e outros equipamentos elétricos e eletrônicos. Geralmente, eles diminuem com o aumento da frequência, com exceção da ignição de motores, que tem sua máxima interferência na faixa de frequências muito altas (VHF). Esses ruídos podem ser diminuídos pela aplicação de filtros ou pela blindagem do aparelho. Os ruídos de fontes externas não produzidos pelo homem são os ruídos atmosféricos, os ruídos cósmicos e ruídos térmicos. Os ruídos atmosféricos também são conhecidos como **estática** e provêm de descargas elétricas naturais. No globo terrestre, por segundo, ocorrem cerca de 100 relâmpagos, em sua maioria na faixa tropical da Terra. Eles se apresentam na saída do receptor como um murmúrio, sendo que os mais próximos apresentam-se como estalidos. Eles ocorrem em todas as frequências, mas diminuem com o aumento da mesma. Acima de 30 MHz, geralmente, não apresentam problemas. Os ruídos cósmicos são os provenientes da emissão rádio de várias fontes da galáxia, inclusive do Sol. Os ruídos térmicos são produzidos pela atmosfera aquecida e pela superfície da Terra.

O total desses ruídos soma-se na saída do receptor: ruídos de fontes externas + ruídos do próprio receptor. Melhorando os componentes de fabricação e adequando os circuitos, introduzindo filtros nas fontes de ruídos produzidos pelo homem e escolhendo apropriadamente a frequência, pode-se ter uma recepção mais livre de interferências.

Quando uma onda de rádio incide em uma antena, nela imprime uma pressão elétrica. Contudo, o fato de existir uma voltagem na antena não significa que ela esteja sendo percorrida por uma corrente elétrica. Para que haja essa corrente é preciso que a pressão elétrica seja maior num lado que no outro da antena, ou seja, que exista uma diferença de potencial entre as extremidades da antena. Então, os elétrons escoarão do local onde estão em excesso, para o local onde estão em falta, produzindo a corrente elétrica.

Na figura 34.30a, temos um sistema antena–terra, onde (1) é a antena, (2) o condutor da mesma, (3) o primário do transformador dentro do receptor e (4) a terra que fecha o circuito. A curva (5) representa um ciclo da onda de radiofrequência que, em sua propagação pelo espaço, encontrou a antena. Nessa figura, o ciclo da onda que encontrou a antena é negativo, logo, transfere à mesma elétrons, que descerão da antena para terra, criando uma corrente elétrica no sentido da seta. Quando passar o próximo ciclo da onda, agora positivo, a antena ficará carregada positivamente em relação à terra. E, como cargas de nomes contrários se atraem, os elétrons da terra sobem e, assim, criam uma corrente no sentido ascendente (figura 34.30b). É fácil identificar o sentido da corrente elétrica na antena unifilar vertical aplicando a lei da atração e repulsão das cargas elétricas: sendo o semiciclo negativo, os elétrons da onda repelem os elétrons “livres” da antena e a corrente tem sentido de cima para baixo. No semiciclo positivo, como as cargas elétricas de sinais contrários se atraem e a maior carga de elétrons está na terra, o sentido da corrente da antena é de baixo para cima.

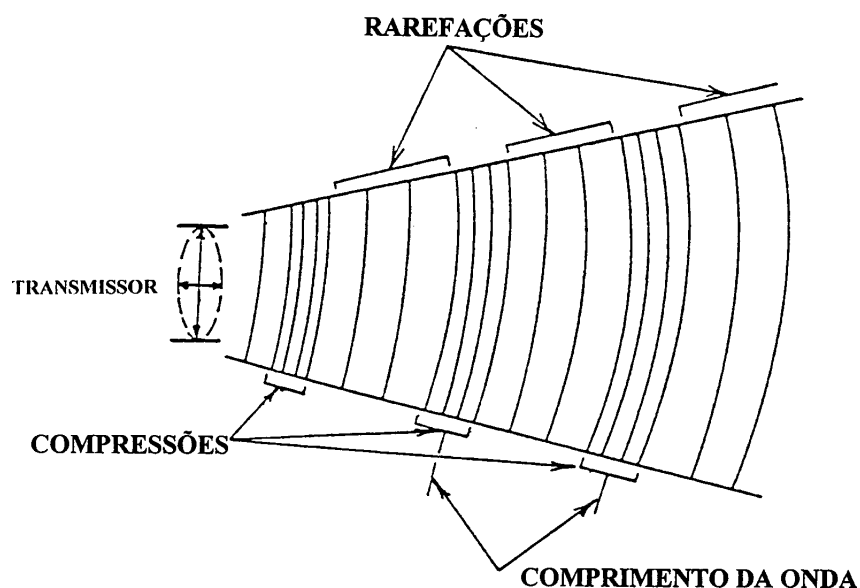
Este é o princípio da antena unifilar vertical, que auxilia a compreender o funcionamento das antenas de recepção. Os outros tipos de antena de recepção (unifilar horizontal, parabólica, em quadro, etc.) serão mencionados ao estudarmos os equipamentos que as usam.

Figura 34.30 – Antena de Recepção Unifilar Vertical

34.6 ONDAS ACÚSTICAS

As **ondas acústicas** propagam-se com vantagens (em relação às ondas EM) no meio aquático. Assim, dominam completamente os sistemas desenvolvidos para atuar nos oceanos.

A **onda acústica** é uma forma de energia mecânica, que se propaga pelo movimento de partículas ou moléculas. Entretanto, uma onda sonora não transporta matéria, mas sim energia. Se imaginarmos um diafragma imerso em água, como o representado pela figura 34.31, ao qual é imprimida, mecânica ou eletricamente, uma vibração, observa-se a formação de regiões de compressão e rarefação, na medida em que o diafragma oscila entre suas posições extremas. As partículas comprimidas, agindo sucessivamente sobre as camadas adjacentes, propagam esse efeito, fazendo com que ele se afaste da fonte de perturbação.

Figura 34.31 – Representação das Ondas Acústicas

Se considerarmos uma molécula individual na água, quando a primeira perturbação a atinge, ela se move primeiro numa direção e depois em sentido oposto. Ela, de fato, tende a manter a sua posição média de repouso, vibrando em torno dela à semelhança das moléculas do diafragma. Evidentemente, outras causas, tais como as correntes, poderão provocar uma variação dessa posição média; as vibrações causadas pelo diafragma, entretanto, não o farão.

A vibração molecular ocorre na direção de propagação da onda, motivo pelo qual as ondas acústicas são chamadas de ondas longitudinais. No entanto, nem todas as ondas mecânicas são longitudinais, como é o caso, por exemplo, das ondas superficiais, na interface água/ar. Neste caso, as moléculas se movem perpendicularmente à direção de propagação. Como no caso das ondas EM, não há movimento vibratório resultante na direção de propagação das ondas; apenas o efeito e a energia se propagam.

A velocidade de propagação das ondas sonoras é muito menor do que a velocidade da luz. Elas viajam na água com uma velocidade de 1.500 m/seg, mais ou menos 3%, dependendo da temperatura, salinidade e pressão. Este valor é cerca de duzentas mil vezes menor que a velocidade de propagação das ondas EM.²

O comprimento de onda de uma onda sonora guarda com a freqüência o mesmo tipo de relação já apresentado para as ondas eletromagnéticas:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Onde v é a velocidade do som na água.

Como a velocidade do som na água varia mais que a velocidade da luz, os comprimentos de uma onda sonora serão, correspondentemente, mais variáveis. Do mesmo modo, devido à menor velocidade do som, o comprimento da onda sonora é muito menor do que o de uma onda EM de mesma freqüência. Por exemplo, para uma freqüência de 10.000 Hz, uma onda sonora terá o comprimento de 15 cm, enquanto o da onda EM será de 30 km.

A medida do grau de compressão ou rarefação de uma onda sonora é a pressão, normalmente tomada em microbares (1 microbar = 1 din/cm² = 14.5 x 10⁻⁶ psi).

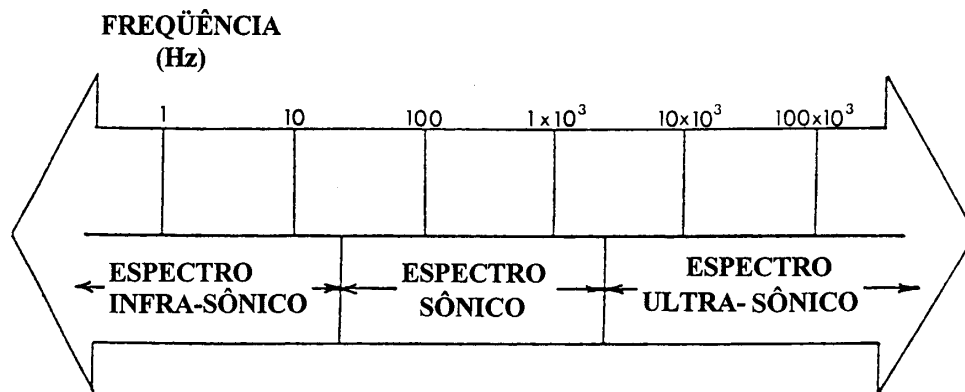
Uma representação pressão x distância ao longo de uma onda sonora teria a mesma forma senoidal das ondas eletromagnéticas.

34.7 O ESPECTRO ACÚSTICO

A figura 34.32 apresenta o **espectro** acústico, que se estende de zero até cerca de 100 kHz. Existem três divisões principais dentro dessa faixa:

A região de 0–20 Hz é chamada de infra-sônica ou subsônica; de 20–20.000 Hz tem-se a região sônica; acima de 20.000 Hz, a região ultra-sônica. As freqüências sônicas são aquelas que o ouvido humano pode detectar. Na prática, poucos indivíduos podem alcançar qualquer dos extremos dessa faixa.

² A velocidade de propagação do som no ar é de cerca de 330 m/seg; no aço, alcança 6.000 m/seg. A resistência acústica da água é de 1.5 x 10⁵ g/cm² . seg, enquanto que a do ar é muito mais baixa (42 g/cm² . seg).

Figura 34.32 – O Espectro Acústico

Os ecobatímetros e sonares empregados na navegação utilizam, em sua maioria, a faixa mais elevada do espectro sônico (de 12 kHz para cima) e o espectro ultra-sônico (especialmente a faixa de 50 a 200 kHz).

É na região sônica que, em sua maioria, os sonares navais – ativos e passivos – operam. Em geral, os passivos na parte inferior (20 – 5.000 Hz) e os ativos na parte superior (1 kHz – 20 kHz). Existe alguma superposição, uma vez que é possível projetar sonares que podem operar em ambos os modos e na mesma frequência.

34.8 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS X ONDAS ACÚSTICAS

Podemos, neste ponto, alinhar algumas semelhanças e diferenças entre as ondas EM e as sonoras. Ambas envolvem a propagação de efeitos mensuráveis e sua energia, através de um meio. Esses efeitos – pressão, campo elétrico e campo magnético – variam de forma senoidal. Tanto as ondas EM como as sonoras caracterizam-se por uma frequência e um comprimento de onda, que se relacionam de forma inversa com uma constante de proporcionalidade igual à velocidade de propagação do efeito considerado:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Talvez a maior diferença entre elas seja o fato de que as ondas EM se propagam no vácuo e as sonoras não. Entretanto, num meio como os oceanos, as ondas sonoras apresentam ótimas condições de propagação. Uma outra diferença significativa é a que existe entre as velocidades de propagação da onda EM e da sonora (como vimos, as ondas eletromagnéticas propagam-se com uma velocidade cerca de 200.000 vezes maior). Poderíamos, ainda, citar as seguintes diferenças:

- As ondas sonoras são longitudinais, ao passo que as EM são transversais;
- a onda EM tem sempre dois efeitos mensuráveis presentes: os campos elétrico e magnético;
- para uma dada frequência, os comprimentos da onda sonora são muito menores que os das ondas EM; e
- a velocidade do som e, conseqüentemente, os comprimentos de ondas sonoras são mais variáveis do que nas ondas EM.

34.9 PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ACÚSTICAS

Os efeitos que afetam a propagação das ondas acústicas e interessam diretamente ao desempenho dos sistemas e sensores utilizados em navegação são:

- **Dispersão;**
- **absorção;**
- **reflexão;** e
- **refração.**

Tanto as ondas EM como as sonoras estão sujeitas a esses efeitos ou fenômenos. Dependendo da natureza e das fronteiras do meio e da frequência da onda, alguns desses fenômenos predominam sobre os outros.

a. DISPERSÃO

A atenuação da propagação de uma onda se processa de duas formas: por **dispersão** e por absorção. A energia disponível para a obtenção de um eco decresce com a distância, porque o impulso se **dispersa** à medida que se afasta da fonte. A queda de intensidade da energia irradiada é proporcional ao quadrado da distância percorrida. Se considerarmos que a energia refletida que produz um eco percorre a distância nos **dois sentidos**, vemos que a intensidade do sinal varia na **razão inversa da quarta potência da distância**. Assim, a intensidade do som é rapidamente atenuada na água. Por isso, usam-se feixes direcionais nos ecobatímetros e sonares.

b. ABSORÇÃO

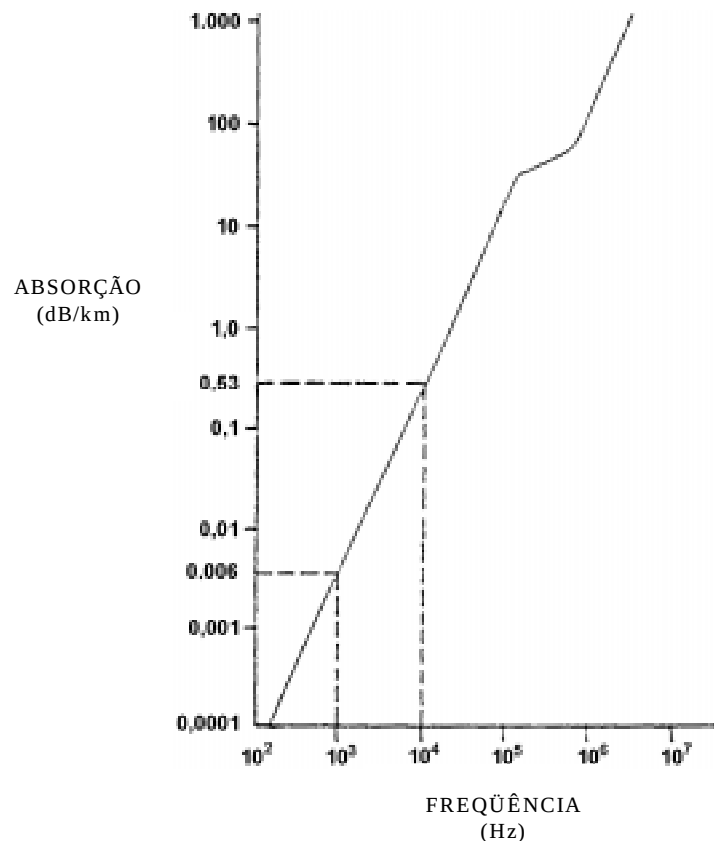
A propagação de ondas através de qualquer meio diferente do vácuo é sempre acompanhada de perdas causadas pela **absorção de potência pelas partículas do meio**. Assim, apenas as ondas EM, ao se propagarem pelo vácuo, não são atenuadas pela absorção.

As **ondas sonoras** perdem uma pequena parcela de energia para cada partícula do meio. Esta energia perdida para o meio pode ser considerada como uma **dissipação de calor**, da qual resultará um crescimento do movimento aleatório das partículas ambientais. Embora vários fatores, como a salinidade e o espalhamento, influenciem a absorção das ondas sonoras ao se propagarem no mar, o fator predominante é a frequência. A figura 34.33 apresenta uma curva de variação da absorção pelo oceano, em função da frequência. Pode ser identificado na curva o **aumento substancial da absorção com o aumento da frequência**, razão pela qual as **frequências elevadas não são utilizadas em sistemas-sonar de longo alcance**. Quanto menor a frequência, menor a absorção e o ecobatímetro, ou sonar, de navegação que opera em baixa frequência terá maior alcance.

c. REFLEXÃO

A reflexão das ondas acústicas é fator indispensável para o funcionamento dos sensores ativos, como o ecobatímetro e o sonar “doppler”. Além do próprio alvo, devem ser consideradas, no estudo da reflexão das ondas sonoras, as superfícies que limitam a sua propagação, no caso, a superfície e o fundo do mar. Dependendo da profundidade, características do fundo e potências envolvidas, as ondas sonoras podem sofrer várias reflexões entre a superfície e o fundo.

Figura 34.33 – Absorção X Frequência



A presença de corpos estranhos no meio, tais como partículas em suspensão, algas, peixes, bolhas, etc., causa um espalhamento da energia sonora. A quantidade de energia espalhada é função do tamanho, densidade e concentração das partículas, bem como da frequência da onda sonora. A parcela da energia sonora espalhada que retorna à fonte, toma o nome de **reverberação**.

A reverberação decorrente da reflexão das ondas sonoras nesses corpos estranhos ao meio é a chamada **reverberação de volume ou de meio**. Este tipo ocorre, principalmente, a distâncias relativamente grandes, pois é causada, na sua maior parte, pelas camadas mais profundas. A **reverberação de volume** independe das condições de vento, estado do mar ou sua estrutura térmica.

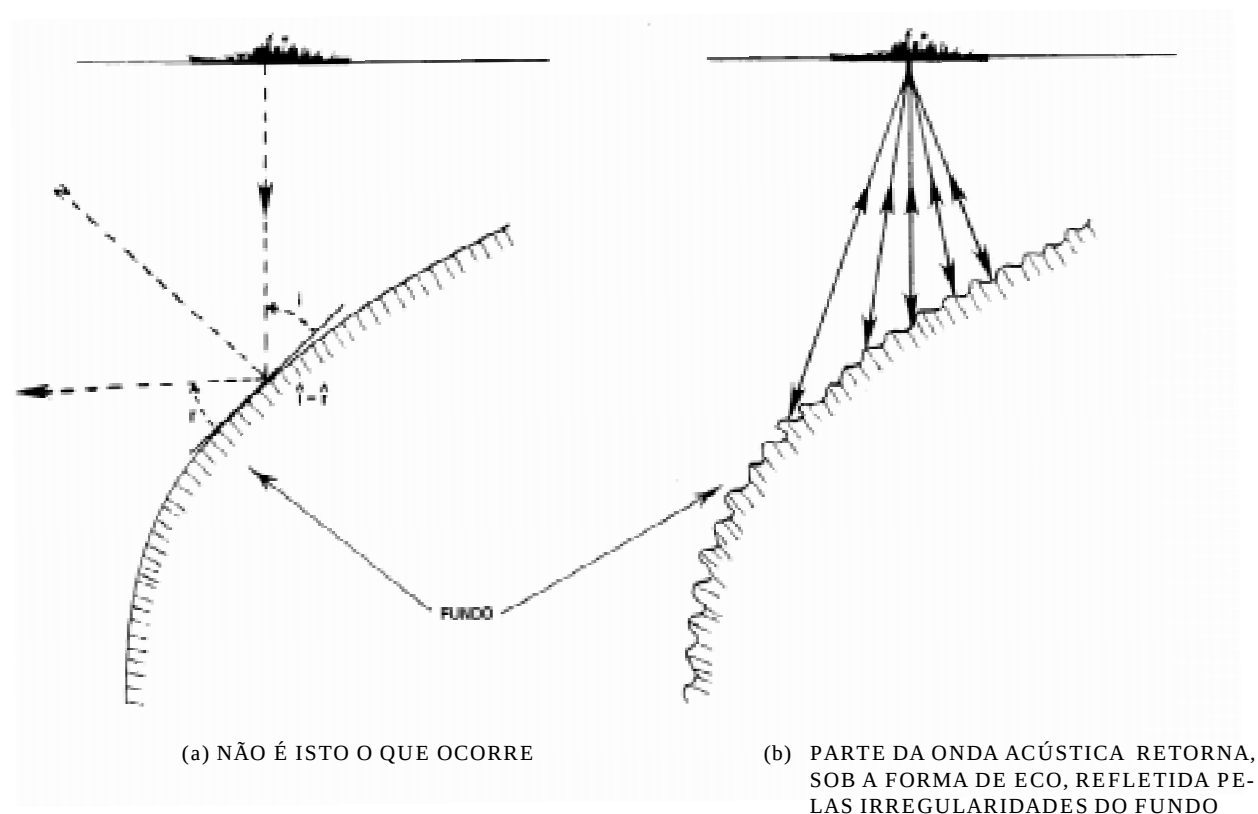
O outro tipo a considerar é a **reverberação de limite**. Entenda-se aqui por limite as barreiras físicas que confinam a propagação do som na água: o fundo e a superfície do mar. As **reverberações de superfície** diminuem com a distância (inversamente proporcional ao cubo da distância) e aumentam com o estado do mar, não só pela maior quantidade de bolhas na superfície como, também, pela reflexão desordenada dos raios sonoros que chegam a ela, fazendo com que grande quantidade deles retorne à fonte.

A **reverberação de fundo** sofre influência da natureza e irregularidades do fundo e do próprio comprimento de onda. Além da absorção pelo fundo de uma considerável parcela de energia, dependendo das suas características e do ângulo de incidência da frente de onda, poderá ocorrer, ou não, um deslocamento de fase no fundo. A reverberação de fundo assume importância quando operando em águas rasas (menos de 200 metros). Um fundo de pedra, coral ou conchas é uma fonte potencial de reverbe-

ração, ao passo que a areia funciona como um bom refletor, permitindo que a maior parte da energia siga a sua trajetória. Um fundo de lama não causará reverberação digna de nota, porém atuará como absorvente de energia sonora.

Na reflexão das ondas acústicas no fundo, o ângulo de incidência (i) é igual ao ângulo de reflexão (r). Então, poderia ocorrer com o feixe transmitido por um ecobatímetro o mostrado na figura 34.34a. No entanto, em virtude das irregularidades do fundo, parte do feixe retorna ao transdutor, sob a forma de eco, conforme ilustrado na figura 34.34b.

Figura 34.34 – Reflexão das Ondas Acústicas no Fundo



Como vimos, na propagação das ondas acústicas na água, observam-se reflexões do som por obstáculos existentes no meio líquido, menores que o comprimento da onda sonora. Este fenômeno é denominado **“scattering”** (dispersão ou espalhamento). Os pequenos obstáculos funcionam como se fossem fontes puntiformes geradoras de som, irradiando ecos para todas as direções (ondas esféricas).

Outros obstáculos são os peixes, pois suas bexigas natatórias, cheias de ar, refletem as ondas sonoras. O eco de um cardume muito denso, próximo do transdutor e longe do fundo, pode obstruir completamente o eco do fundo, mascarando a indicação do ecobatímetro. Entretanto, geralmente, mesmo com a presença de cardumes pode-se identificar o eco do fundo.

Na entrada da plataforma continental, normalmente entre 400 e 1.000 metros de profundidade, costuma aparecer uma camada de origem biológica, denominada **“deep scattering layer”** – DSL (camada de dispersão profunda), que reflete o feixe sonoro transmitido por um ecobatímetro, podendo causar indicações erradas de profundidade. A DSL é observada em todos os oceanos, exceto nas altas Latitudes do Ártico e da Antártica.

A DSL é formada por zooplânctons, principalmente copépodos e eufausídeos. As DSL migram, seguindo uma linha de isoluminosidade, buscando uma luminosidade ótima (são repelidas por uma luminosidade forte e atraídas por uma luminosidade fraca). De noite, estão mais próximas da superfície; durante o dia, deslocam-se para profundidades maiores (400 a 600 metros). Sabemos que quanto mais baixa a frequência da onda sonora, maior o comprimento de onda e, assim, maiores devem ser os obstáculos (zooplânctons) para refletirem o som. Desta forma, frequências mais baixas conseguem penetrar na DSL e indicar corretamente o fundo.

d. REFRAÇÃO DAS ONDAS ACÚSTICAS

Sempre que uma frente de onda – seja ela EM ou sonora – se propaga por um meio onde ocorre uma variação de densidade, haverá um encurvamento do feixe. Dos dois meios considerados – atmosfera e oceano – o segundo é o mais variável. Assim, a refração das ondas sonoras assumem papel importante na propagação nesse meio. Em última análise, a causa da refração é a variação da velocidade de propagação. A velocidade do som é função da temperatura, salinidade e pressão da água do mar, guardando proporção direta com a variação de qualquer desses fatores. À medida que o som se propaga em um determinado meio, sofre encurvamentos na direção das regiões em que a velocidade é menor (Lei de Snell: os senos dos ângulos de incidência e de refração são proporcionais, respectivamente, às velocidades de propagação nos meios considerados).

As maiores variações de temperatura ocorrem nas profundidades menores, até cerca de 1.000 metros. Nesta faixa, a velocidade do som varia quase proporcionalmente à temperatura. Abaixo dessa profundidade, a temperatura é quase constante, e as variações são causadas, principalmente, pela pressão. A combinação desses efeitos faz, geralmente, que um raio sonoro seja inicialmente encurvado para baixo, em direção às maiores profundidades, até um ponto em que essa tendência se inverte e o raio começa a se encurvar para cima. Se a profundidade local for suficiente, o raio poderá sofrer refrações sucessivas nas regiões profundas e na superfície, guardando certa semelhança com as reflexões sucessivas entre os limites – fundo e superfície. A grande diferença entre os dois fenômenos é que, no caso da **refração**, desenvolve-se um efeito de focalização dos raios sonoros, à medida em que eles se aproximam da superfície. Esse efeito, chamado de **convergência**, cria uma região, de forma anular, que circunda a fonte, chamada **zona de convergência**, onde a intensidade sonora é maior do que nas regiões vizinhas (figura 34.35).

A trajetória de um feixe sonoro ao se deslocar na massa líquida irá depender das propriedades da área considerada (temperatura, salinidade e pressão) e do seu perfil de velocidade do som. Essa trajetória pode variar desde uma simples linha reta até configurações bastante complexas. Poderemos, para facilidade de raciocínio, imaginar que a massa líquida é composta de uma série de camadas superpostas, nas quais a temperatura, pressão e salinidade, e, conseqüentemente, a velocidade do som, são constantes. Teremos, assim, uma série de pequenas separações que, justapostas, formariam o encurvamento final do feixe (figura 34.36). Esta figura mostra um perfil de temperatura negativo, com o conseqüente encurvamento do feixe para baixo. Caso se tratasse de um perfil positivo, o encurvamento ocorreria em sentido contrário, isto é, para cima. O traçado apresentado é, na realidade, mera aplicação da Lei de Snell, que estabelece uma relação matemática entre a velocidade do som (V), nas regiões limítrofes das camadas vizinhas, e o ângulo formado pelo feixe sonoro com aquela linha hipotética.

Figura 34.35 – Diagrama Típico de Trajetórias Sonoras

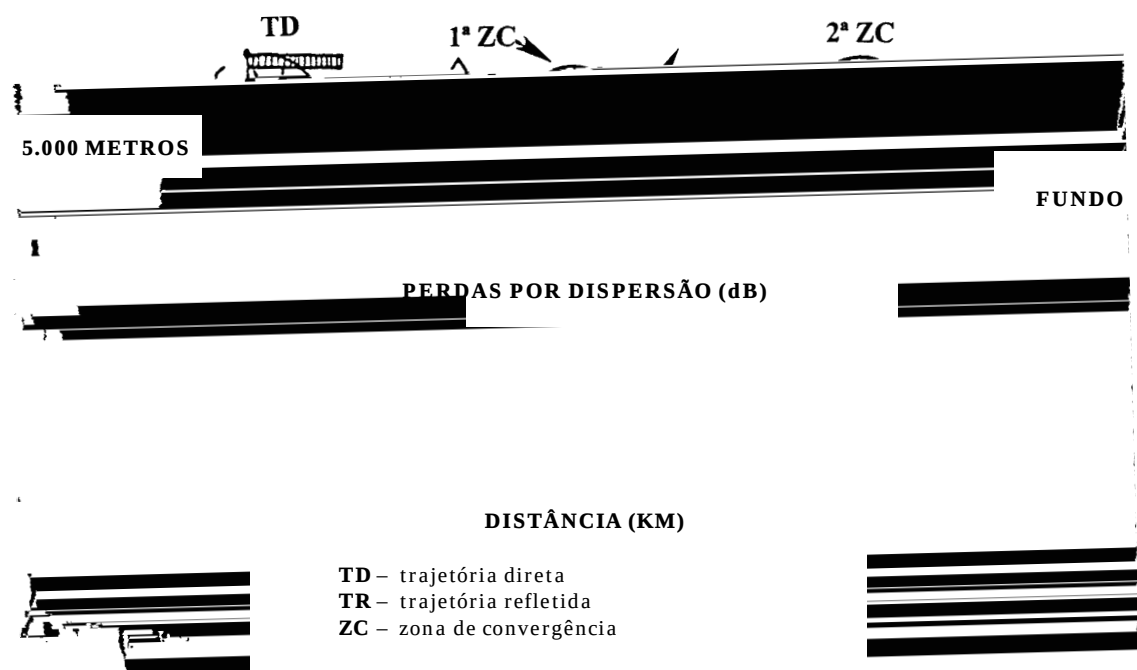
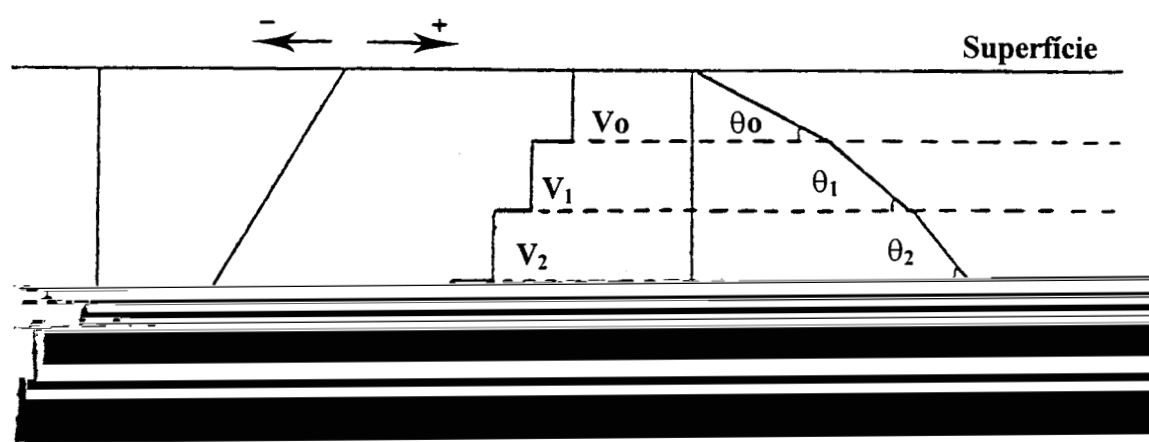


Figura 34.36 – Propagação em Camadas

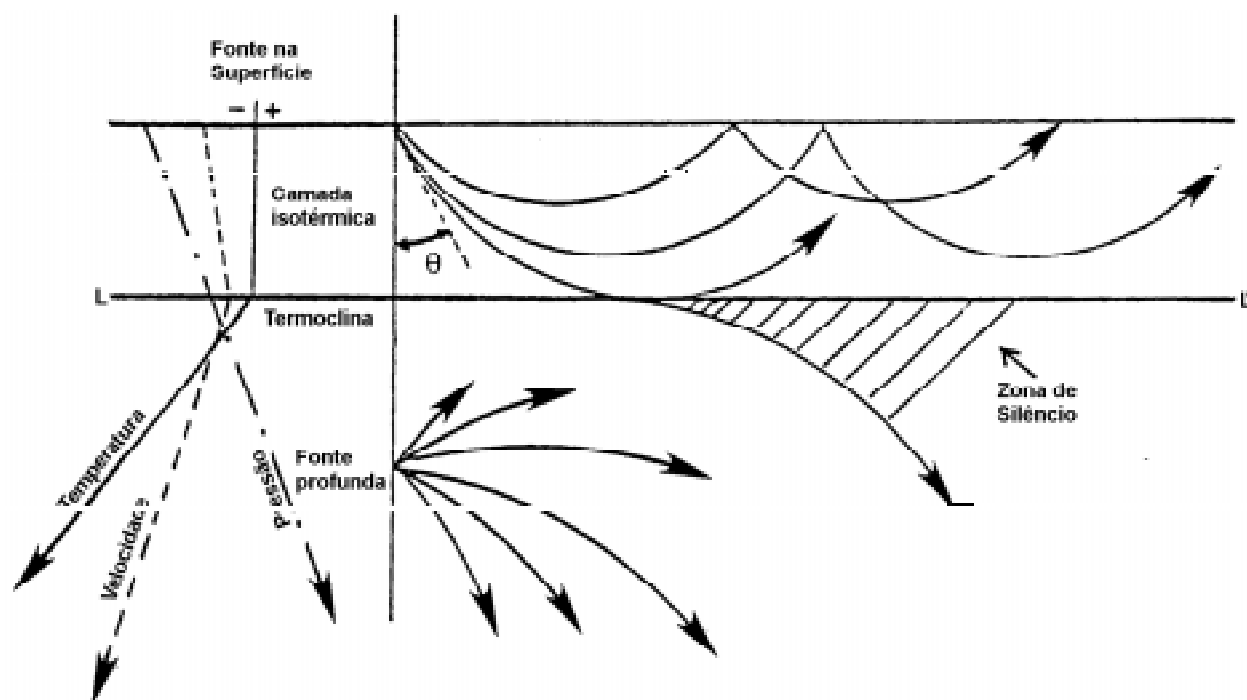


A figura 34.37 ilustra a discussão que será conduzida ao longo dos parágrafos seguintes. À esquerda da figura estão representados três perfis em relação à profundidade. Um deles, mostrado em linha cheia, é o gradiente de temperatura. Pode-se observar que a **temperatura é constante na camada mais próxima da superfície**. Esta temperatura constante, ou situação isotérmica, é causada pela ação misturadora dos ventos e ondas, sendo comum ao longo da maior parte dos oceanos. Abaixo dessa camada superficial, pode ser observada uma queda, aproximadamente constante, da temperatura.

O gradiente de pressão está representado pela linha interrompida (mista). A **pressão cresce constantemente com a profundidade**.

A combinação desses dois gradientes – temperatura e pressão – está representada pela linha tracejada, que representa o perfil de velocidade do som na água. Na

Figura 34.37 – Trajetórias Sonoras



camada superficial, a temperatura constante e o aumento de pressão causam um gradiente de velocidade ligeiramente positivo. Abaixo da camada isotérmica predomina o efeito da temperatura, produzindo um gradiente de velocidade resultante negativo (deixamos de considerar o efeito da salinidade, que é, normalmente, menos significativo). A linha LL', que separa a camada isotérmica da região abaixo dela, é chamada **termoclina**. No limite LL' (que, na realidade, não é uma linha definida), há uma inversão do gradiente de velocidade, passando de positivo a negativo.

A figura mostra o comportamento de raios emitidos por duas fontes sonoras, uma próxima da superfície e outra em profundidade maior. Podemos observar o comportamento de vários raios que se originam das duas fontes. Todos os raios emitidos pela fonte da superfície apresentam, inicialmente, enquanto percorrem a camada isotérmica, um raio de curvatura ascendente decorrente do gradiente ligeiramente positivo de velocidade. Os raios de menor inclinação com relação à vertical, ao atingirem o limite (LL'), ingressam na termoclina, onde seus raios de curvatura passam a ser descendentes devido ao gradiente negativo. As ondas acústicas emitidas por um ecobatímetro na vertical (isto é, $q = 0^\circ$) passam pela termoclina, sem refração notável.

Um raio de grande importância, pelas conseqüências que advêm do seu comportamento, é o que tangencia a fronteira LL'. Esse raio divide-se em dois, com parte da energia refratando de volta à superfície e parte penetrando na termoclina e dirigindo-se às águas mais profundas. Todos os raios com inclinação maior do que este serão refratados de volta à superfície, continuando com seu raio de curvatura ascendente, ao passo que os demais, com inclinação menor, penetrarão na termoclina e sofrerão a refração que os encurvará para baixo. Constata-se, portanto, uma **zona de silêncio**, na qual a presença de energia sonora é muito pequena. A profundidade na qual ocorre essa bifurcação do feixe sonoro é chamada de **profundidade de camada**, que se caracteriza pela presença de gradientes positivos ou isotérmicos, seguidos de um gradiente negativo. Os submarinos podem escapar à detecção navegando imediatamente abaixo da profundidade de camada.

Outro aspecto a observar é a possibilidade de que os raios de grande inclinação, portanto com curvaturas ascendentes, sejam aprisionados na camada isotérmica por reflexões sucessivas na superfície, formando os chamados **duto de superfície**. Quando tal fenômeno ocorre, as perdas por dispersão são menores, pois a dispersão passa a ser cilíndrica, proporcionando grandes alcances a pequenas profundidades (cota periscópica).

Um outro fenômeno decorrente da refração causada pela presença sucessiva de diferentes gradientes de velocidade é a formação de canais sonoros, que ocorrem a grandes profundidades, quando a um gradiente negativo se segue um isotérmico ou positivo. Este fenômeno é raro a pequenas profundidades. A existência desses canais tem grande significação para detecção a longas distâncias, havendo notícia de que já foram detectados sons de baixa frequência a distâncias de 10.000 milhas da fonte, graças às pequenas perdas por absorção e ao confinamento do feixe, proporcionando excelentes condições de propagação. O sistema SOFAR (“Sound Fixing and Ranging”) funciona baseado nesse fenômeno.

34.10 NOÇÕES SOBRE ECOBATÍMETROS E TRANSDUTORES

a. ECOBATÍMETRO

O instrumento de propagação sonora mais simples e mais utilizado é o ecobatímetro. Um dispositivo do aparelho mede o tempo decorrido entre a emissão de um impulso sonoro e a recepção do seu eco, após refletir-se no fundo. Conhecendo-se esse tempo (cuja metade corresponderá ao tempo necessário para o impulso atingir o fundo) e assumindo-se uma velocidade média de propagação do impulso (em geral de 1.500m/s), obtém-se a profundidade local, diretamente mostrada de forma visual ou digital, ou, ainda, indicada em papel especial de registro (ou em um mostrador LCD), que apresenta o perfil do fundo.

A topografia submarina e a natureza do fundo exercem importante influência sobre o desempenho de um ecobatímetro. A propagação do som (e, conseqüentemente, a qualidade de recepção) dependerá da profundidade local, dos sedimentos que cobrem o leito submarino e do estado do mar. Os fundos de lama, por exemplo, refletem muito mal o som, enquanto os fundos de areia absorvem muito pouco a onda sonora, constituindo-se em ótimos elementos de reflexão. Em um mar muito agitado, a propagação também se efetuará de forma deficiente, não se podendo tirar partido de todas as possibilidades do aparelho. A energia sonora emitida por um ecobatímetro chegará ao fundo e nele estará sujeita à absorção e à difusão. Embora atenuada, a energia refletir-se-á no fundo, como eco, daí retornando à superfície, para refratar-se novamente para baixo.

Os transdutores dos ecobatímetros emitem o som em uma frequência controlada, através dos efeitos de piezoelectricidade ou de magnetostrição. No primeiro caso, uma lâmina de cristal é posta em vibração sob a ação de um campo elétrico alternativo. Na magnetostrição, uma corrente alternada circulando em um solenóide faz variar continuamente o comprimento de uma barra metálica, produzindo os pulsos acústicos.

Em consonância com o que foi visto no item anterior, podemos concluir que, sendo o coeficiente de absorção proporcional ao quadrado da frequência, essa relação torna-se importante para a escolha das frequências usadas na propagação sonora.

Considerando exclusivamente a eficiência da transmissão, é evidente que, quanto mais baixa a frequência, melhor, pois o coeficiente de absorção também será pequeno. No entanto, às vezes é necessário concentrar a energia acústica em um feixe estreito, que permita uma recepção com maior discriminação, facilitando a obtenção de um contorno submarino mais definido. Nesse caso, a exigência de direcionalidade favorece o uso de frequências mais altas. O problema é resolvido através de um compromisso, na escolha de frequências mais baixas ou mais altas, de acordo com o uso que se deseja fazer do ecobatímetro e dos resultados que se necessita alcançar.

b. TRANSDUTORES

O **transdutor** é um componente básico de um sistema ou equipamento de navegação que emprega ondas acústicas, tal como o ecobatímetro ou o sonar “doppler”. O **transdutor** (também denominado de **sensor**) converte um pulso de energia elétrica em energia sonora, e vice-versa. Outros dispositivos semelhantes são o **projektor** (ou **oscilador**), que apenas transmite uma onda acústica (isto é, somente transforma energia elétrica em energia sonora), e o **hidrofone**, que é passivo (ou seja, só transforma energia sonora em energia elétrica, sendo usado unicamente para recepção). O **transdutor** executa as duas funções: transforma energia elétrica em energia sonora, que é transmitida através da água, e converte o eco recebido em energia elétrica.

A transformação de energia elétrica em energia sonora, e vice-versa, pode ser obtida por **magnetostricção** e por **piezoeletricidade**. Os **transdutores magnetostritivos** baseiam-se nas propriedades de certos metais (como o níquel) de variarem seu comprimento (vibrarem) com a variação do campo magnético que os envolvem. Os **transdutores piezoelétricos** baseiam-se na propriedade de certos materiais cerâmicos (como o titanato de bário e o zirconato de chumbo) de variarem suas dimensões quando é aplicada uma diferença de potencial entre seus extremos. O titanato de bário é usado normalmente em transdutores de baixa frequência, enquanto o zirconato de chumbo em transdutores de alta frequência. Estes dois efeitos (magnetostricção e piezoeletricidade) também são “revertidos”, isto é, também transformam ondas sonoras em ondas elétricas.

Os **transdutores magnetostritivos** são de baixa impedância (cerca de 70 W); pode-se, portanto, utilizar um cabo bem longo entre ele e o registrador/indicador do equipamento. Os **transdutores piezoelétricos** são de alta impedância (cerca de 1.500 W), não se podendo usar, então, cabos muito longos, em virtude da perda de corrente. A solução é utilizar um transformador de impedância na saída do transdutor, baixando a impedância para valores próximos ao do transdutor magnetostritivo.

No que concerne ao rendimento, um transdutor magnetostritivo tem uma eficiência de 30%, enquanto que um piezoelétrico tem o dobro de eficiência (60%). Isto significa que, se for aplicada uma potência elétrica em um transdutor magnetostritivo, ele só transmitirá 30% desta energia, sob forma de onda sonora, para o meio aquático. O transdutor piezoelétrico converterá 60%. Esta diferença não seria muito significativa, pois poder-se-ia aplicar ao transdutor magnetostritivo o dobro da potência, para obter a mesma saída. A diferença notável está no custo, pois o transdutor cerâmico (piezoelétrico) é muito mais barato que o magnetostritivo.

Para minimizar as perdas por dispersão que ocorreriam no caso de fontes pontiformes, que transmitiriam ondas sonoras esféricas, os transdutores usam feixes direcionais (feixes cônicos), com uma pequena abertura (largura), obtendo, assim, a desejada

concentração de energia. Tal como no caso das antenas de irradiação de ondas EM, a largura do feixe de um transdutor (“beam width”) é medida entre pontos de meia potência (−3dB), onde metade da energia transmitida é recebida.

O transdutor deve ser instalado em um local sem turbulência, onde a água deve fluir naturalmente, sem obstáculos nas proximidades. Ademais, deve ficar afastado dos hélices, para evitar turbulência e ruídos. O nível de ruído (NL – “noise level”) cresce muito com a velocidade do navio, aumentando com a 3ª potência do crescimento da velocidade. Por exemplo, se a velocidade dobra, o NL aumenta de $2^3 = 8$ vezes. Além disso, deve ficar, também, afastado da proa, onde há turbulência e bolhas de ar que refletem toda energia transmitida. Normalmente, a posição ideal situa-se a 1/3 do comprimento do navio, a partir da proa. Nesta situação, o transdutor estará num ponto de alta pressão da onda de proa (“bow wave”) produzida pelo deslocamento do navio, porém já fora da área onde existem turbulência e bolhas de ar.

Como visto, a velocidade de propagação do som na água varia, no máximo, de cerca de 3% a 4%, conforme as características do meio (temperatura, pressão e salinidade). No entanto, os ecobatímetros de navegação são ajustados para uma velocidade de propagação de 1.500 m/s. As pequenas diferenças não trazem erros significativos nas profundidades indicadas. Apenas os ecobatímetros científicos (hidrográficos e oceanográficos) permitem um controle de velocidade, de modo a ajustar o equipamento para a velocidade real de propagação do som numa determinada massa d'água.

35.1 O RADIOGONIÔMETRO

a. PRINCÍPIOS DO RADIOGONIÔMETRO

Radiogoniometria é o método que tem por objetivo determinar, mediante o emprego de sinais radioelétricos, a direção entre duas estações, uma transmissora e uma receptora. O equipamento utilizado a bordo para efetuar essa determinação denomina-se **radiogoniômetro**.

A origem do método data da primeira década deste século e seu emprego se mantém até hoje, em que pese o grande desenvolvimento ultimamente alcançado por outros sistemas de Navegação Eletrônica.

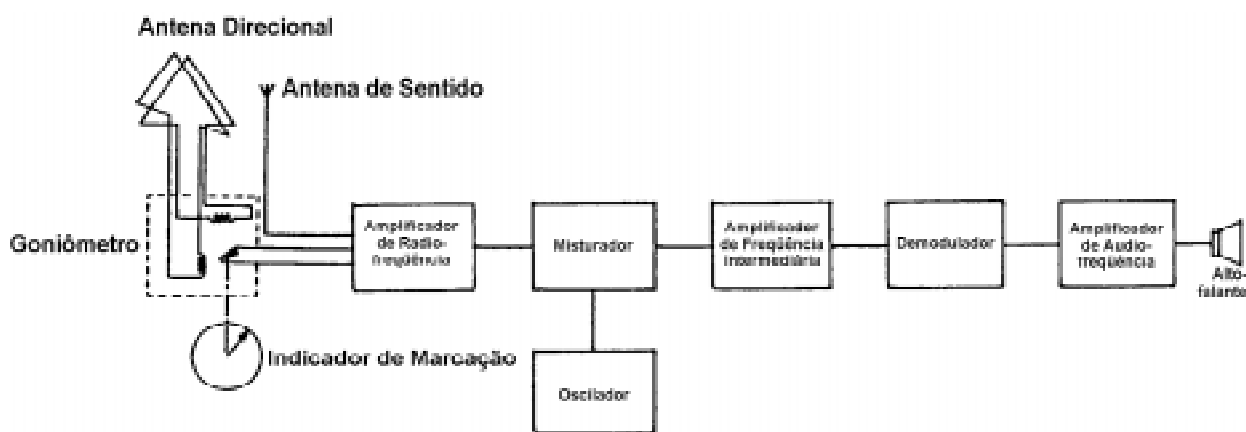
Os **radiogoniômetros** instalados a bordo permitem a obtenção de marcações de radiofaróis, outros navios, aviões e, até mesmo, de emissoras de radiodifusão comerciais. As marcações radiogoniométricas adquirem um grande valor em ocasiões de visibilidade restrita, quando não podem ser realizadas observações astronômicas ou visuais.

Então, na **radiogoniometria**, um radiofarol, ou uma estação transmissora, irradia um sinal não direcional (circular) e, por meio de um receptor acoplado a uma antena direcional a bordo, obtém-se a direção do sinal irradiado, ou seja, determina-se a direção da estação transmissora. O ângulo entre a direção segundo a qual se recebe a onda eletromagnética e a proa do navio constitui a

aplicando-se as correções adiante indicadas, obtém-se a **marcação verdadeira** do radiofarol, ou estação transmissora. Se duas ou mais marcações diferentes forem determinadas, a posição do navio ficará definida. Assim, na **radiogoniometria** é usado o **método direcional** para obtenção das LDP (**marcações radiogoniométricas**).

O radiogoniômetro é constituído por um receptor e por um sistema de antena de quadro, que tem propriedade direcional (figura 35.1). O receptor, em geral, é do tipo superheterodino, no qual a radiofrequência modulada é amplificada num pré-amplificador e, então, alimenta um misturador, para transformá-la numa portadora fixa de baixa frequência, chamada de frequência intermediária. Os sinais modulados de frequência intermediária (FI) passam por amplificações muito altas no amplificador de FI e alimentam o demodulador, para a demodulação; os sinais de áudio (ou vídeo) resultantes são, posteriormente, amplificados, antes de serem enviados à saída. Os receptores radiogoniométricos também dispõem, normalmente, de um oscilador de batimento, para recepção de sinais de A1 (radiotelegrafia).

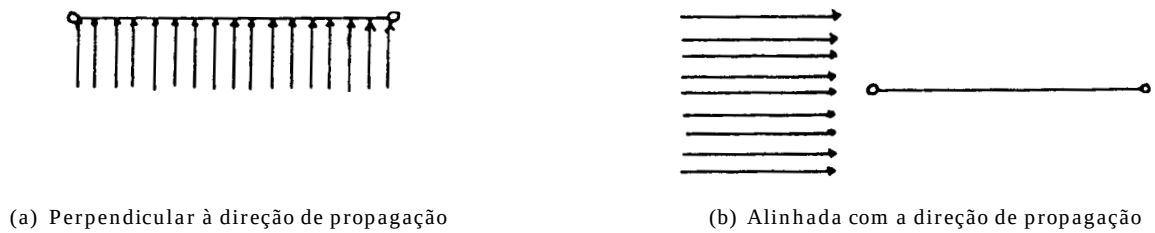
Figura 35.1 – Diagrama em Bloco de um Radiogoniômetro



b. RECEPÇÃO DA ONDA RADIOELÉTRICA. SISTEMAS DE ANTENAS

Em uma antena unifilar horizontal, a intensidade do sinal recebido varia com a direção da mesma em relação à fonte transmissora. Se a antena está perpendicular à direção de propagação, a recepção é nula, ou mínima, pois todos os pontos da antena estão a uma mesma distância da estação transmissora e a pressão que a antena recebe é uniforme em toda sua extensão (figura 35.2 a); não há diferença de potencial e, portanto, nenhuma corrente elétrica é induzida na antena. Por outro lado, se a antena está alinhada com o transmissor, ou seja, orientada na direção de propagação das ondas eletromagnéticas, a recepção é máxima (figura 35.2 b). Há uma diferença de potencial entre as extremidades da antena e, portanto, uma corrente elétrica será induzida na mesma.

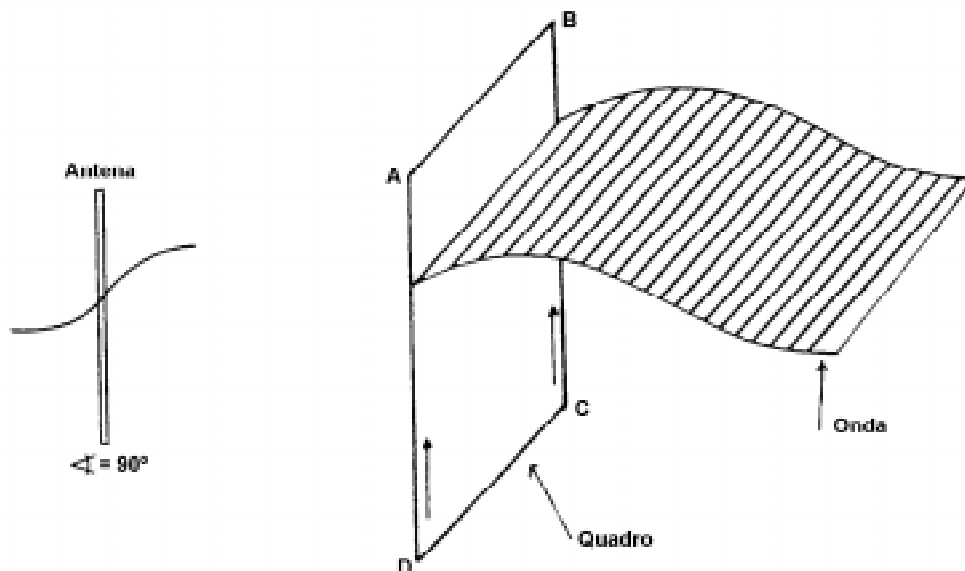
Assim, se orientarmos uma antena unifilar horizontal na direção da estação transmissora, obteremos uma melhor recepção. De maneira inversa, se orientarmos a antena perpendicularmente à direção de propagação das ondas radioelétricas, haverá um mínimo de recepção (teoricamente, a recepção será nula). Portanto, a antena horizontal é direcional e poderia ser usada nos radiogoniômetros.

Figura 35.2 – Antena Unifilar Horizontal

Contudo, a faixa usada em radiogoniometria estende-se de 250 kHz a 600 kHz, o que corresponde a comprimentos de onda de 1.200 a 500 metros. Se usássemos uma antena dipolo de meia onda, ela deveria ter de 250 a 600 metros de comprimento. Embora esse comprimento pudesse ser diminuído, devido à alta sensibilidade dos receptores atuais, ainda assim seu uso a bordo seria inviável.

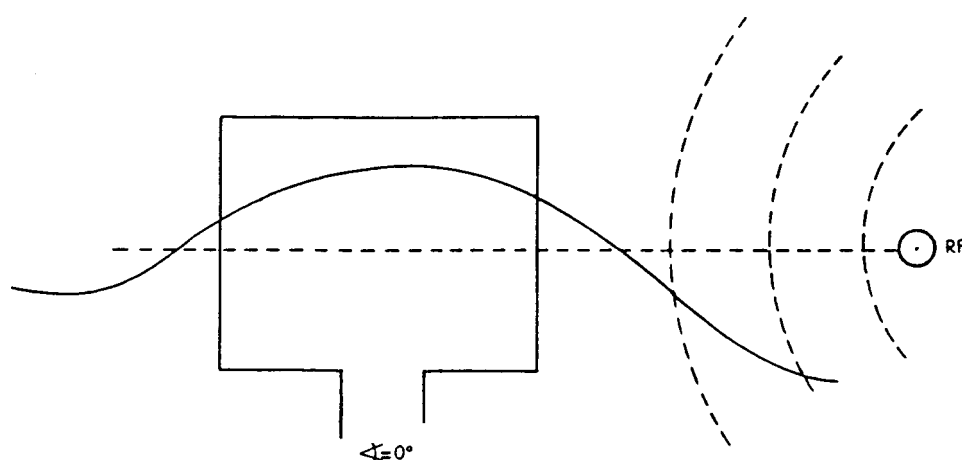
Recorre-se, então, às **antenas de quadro**, que também são direcionais. Apesar de, na prática, serem empregadas antenas de quadro circulares, utilizaremos em nossas explicações antenas retangulares, para maior facilidade de entendimento.

Na figura 35.3, a antena de quadro está perpendicular à direção de propagação das ondas radioelétricas, isto é, o plano do quadro faz um ângulo de 90° com a direção da estação transmissora. Nos braços horizontais do quadro, a pressão elétrica é igual em todo o comprimento e, como nas antenas horizontais, não há diferença de potencial e, portanto, não há corrente. Nos braços verticais do quadro, a onda de rádio induzirá corrente, mas o campo magnético corta simultaneamente e com igual intensidade os dois condutores verticais, induzindo em ambos uma FEM (força eletromotriz) de idêntica magnitude, mas de sentidos opostos, que se anulam. Por consequência, a recepção será, teoricamente, nula.

Figura 35.3 – Antena de Quadro Perpendicular à Direção da Onda (a Recepção Teórica é Nula)

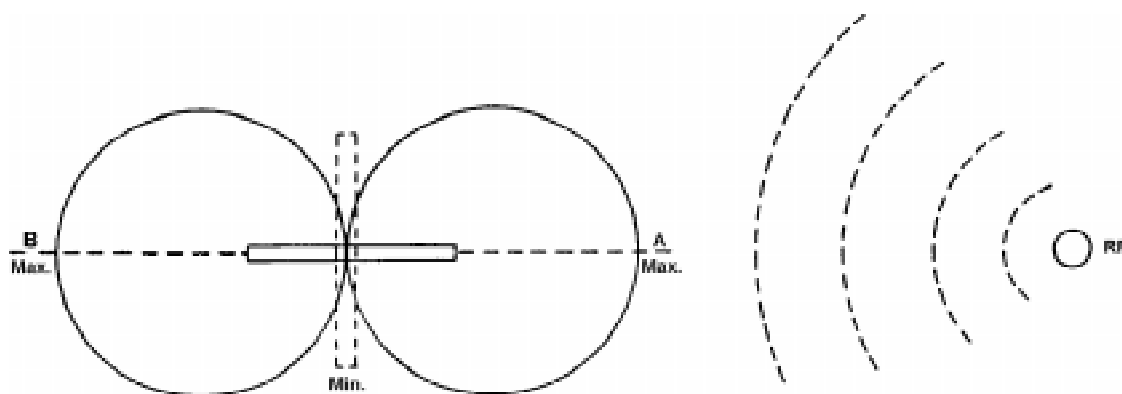
Na figura 35.4, a antena de quadro está alinhada com a direção da onda radioelétrica, ou seja, o ângulo entre o plano do quadro e a direção da estação transmissora é de 0° (o plano do quadro está voltado para o transmissor). As ondas eletromagnéticas induzirão no condutor vertical da direita do quadro uma FEM, antes que ocorra o mesmo no condutor da esquerda, ficando ambos ligeiramente fora de fase. Teremos, então, duas FEM que não são de igual magnitude momentânea. Portanto, haverá uma circulação de corrente no quadro, de intensidade maior que em qualquer outra posição da antena. A corrente resultante é alternada e da mesma frequência que a onda recebida.

Figura 35.4 – Antena de Quadro Alinhada com a Direção de Propagação (Recepção Máxima)



Desta maneira, a intensidade máxima do sinal ocorrerá quando a antena estiver orientada (alinhada) na direção da estação transmissora e a mínima quando estiver na perpendicular (a 90°) dela. Traçando a curva que representa a intensidade do sinal recebido, ao dar uma rotação de 360° na antena de quadro, esta curva tomará a forma indicada na figura 35.5, sendo denominada de “curva em 8” ou “diagrama polar”.

Figura 35.5 – Diagrama de Intensidade do Sinal Recebido (Diagrama Polar)



Assim, se alinharmos o plano da antena de quadro com a direção da estação transmissora, a recepção será máxima e um sinal forte será ouvido nos fones ou no alto-falante. Se

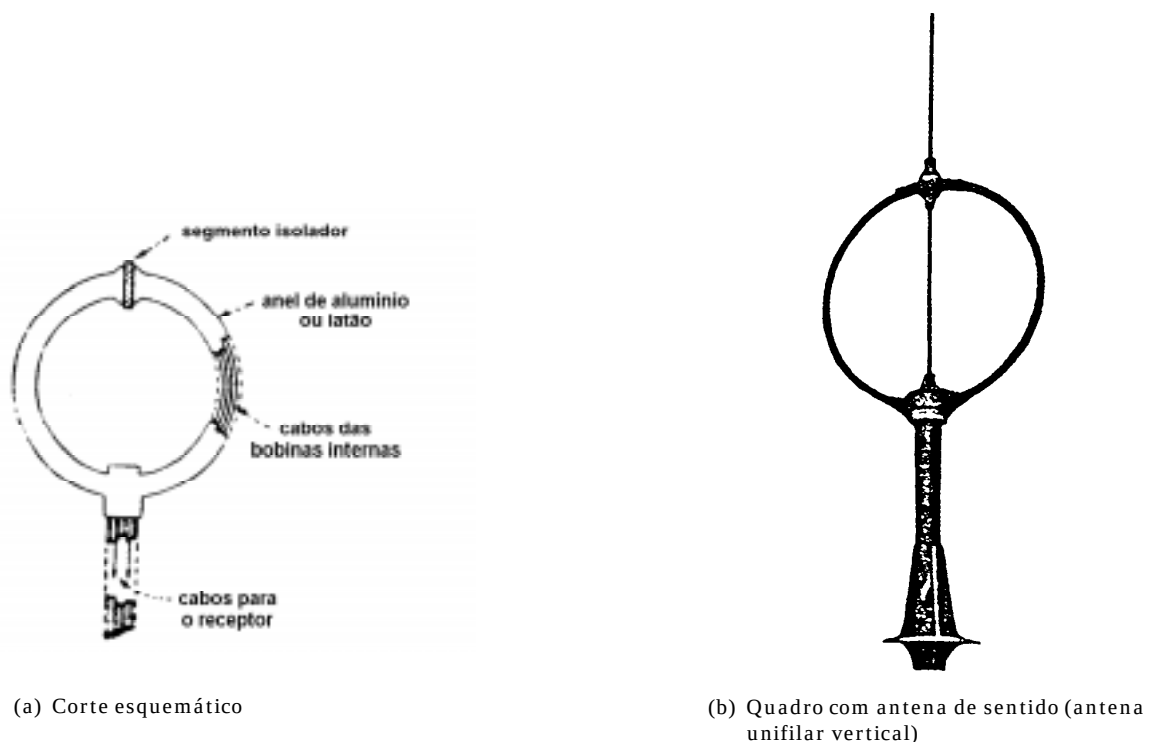
colocarmos o plano da antena em direção perpendicular ao caminho da onda, a recepção será praticamente nula e nada se ouvirá nos fones ou alto-falantes.

Em radiogoniometria usam-se dois tipos de sistemas de antena de quadro, que se baseiam nos princípios acima explicados:

- Sistema Kolster–Dunmore; e
- Sistema Bellini–Tosi.

A antena do sistema Kolster–Dunmore é idêntica à antena de quadro retangular que descrevemos, só que, geralmente, é apresentada em forma circular (figura 35.6). É uma antena de quadro giratória, constituída por uma bobina de 10 a 15 espiras, enroladas em um suporte de baquelite (ou material semelhante) em forma de anel. A bobina fica alojada num anel oco, de alumínio ou latão, que forma uma blindagem. Essa blindagem só é isolada na parte de cima, onde existe um elemento isolador. Sem esse elemento isolador nenhum sinal penetraria no interior do anel e, por conseguinte, nenhum sinal chegaria às bobinas.

Figura 35.6 – Antena Kolster–Dunmore

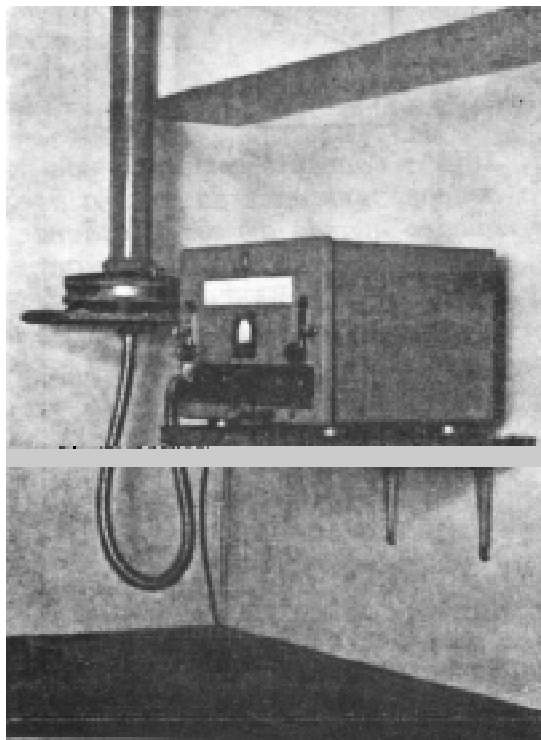


O quadro é girado à mão. A antena é instalada no tijupá e o eixo do quadro atravessa o piso, indo até o camarim de navegação, onde um volante permite a rotação do quadro. Ao volante está ligado um ponteiro que trabalha sobre uma rosa graduada de 0° a 360° , o zero indicando a proa do navio. O ponteiro faz um ângulo de 90° com o plano do quadro. Logo, quando a recepção for mínima, o ponteiro indicará, na rosa, a direção da estação transmissora. É assim que se obtém a **marcação relativa** da estação, ou **marcação radiogoniométrica**.

A figura 35.7 apresenta a instalação no camarim de navegação, vendo-se o volante e o receptor radiogoniométrico. Hoje em dia quase não se usa este sistema, que, entretanto,

ainda pode ser encontrado em equipamentos mais antigos. A antena deve ficar quase na mesma vertical, bem próxima do receptor, devido à ligação mecânica quadro-volante-receptor.

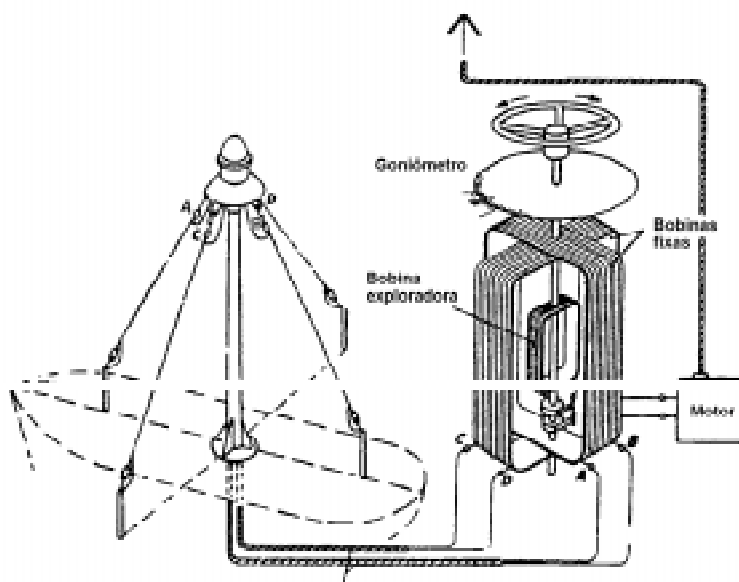
Figura 35.7 – Radiogoniômetro com Antena Kolster–Dunmore



O outro sistema é denominado Bellini–Tossi. Em sua instalação a bordo, pode se apresentar de duas maneiras:

- em antenas de estai (figura 35.8); e
- em antenas de quadros cruzados (figura 35.9).

Figura 35.8 – Antenas de Estai do Sistema Bellini–Tosi



As antenas de estai são constituídas por duas ante-

Na prática, temos duas posições de máximo e duas posições de nulo, defasadas de 180° . Normalmente, isso não é problema, pois conhecemos a nossa posição estimada e podemos facilmente distinguir o valor real da marcação da sua recíproca.

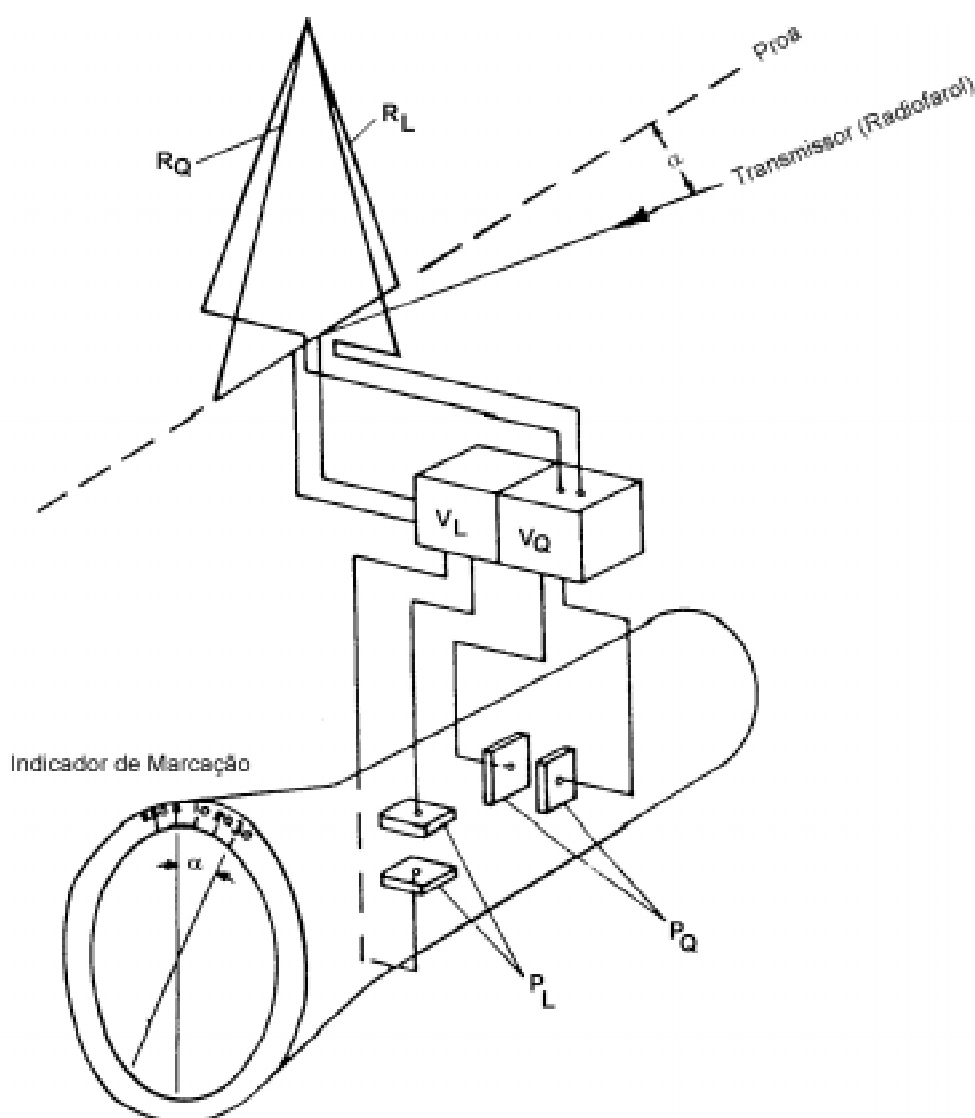
Entretanto, a história da navegação nos informa que, em 1923, sete Contratorpedeiros da U.S. Navy se perderam, no desastre de Point Honda, nas costas da Califórnia, devido a erro na determinação do sentido da estação transmissora. Eles tomaram a marcação recíproca, em vez do valor real, da estação de Point Concepción e, assim, baseando-se em uma suposição errada, tomaram um rumo que os levou ao encalhe, seguido de naufrágio.

Por isso, os radiogoniômetros possuem uma antena unifilar vertical, denominada **antena de sentido**

e. APRESENTAÇÃO DA MARCAÇÃO RADIOGONIOMÉTRICA

A apresentação visual da marcação radiogoniométrica pode ser feita em um tubo de raios catódicos (VRC = válvula de raios catódicos), como mostrado na figura 35.11. Na VRC será indicado o ângulo entre a proa do navio e a direção da transmissão, ou seja, a marcação relativa da estação transmissora. Ao redor da tela, há uma rosa para leitura das marcações relativas. Além disso, pode haver, ainda, uma rosa externa, acoplada a uma repetidora da agulha giroscópica, para leitura de marcações verdadeiras dos radiofaróis.

Figura 35.11 – Radiogoniômetro com indicador de VRC



Outros equipamentos têm um mostrador digital, que indica o valor numérico da marcação radiogoniométrica, ou utilizam um mostrador analógico, onde a marcação relativa é lida pela indicação de um ponteiro em uma rosa graduada de 000° a 360°, como no radiogoniômetro da figura 35.12. Normalmente, esta rosa pode ser girada manualmente; assim, ajustando-se nela o rumo do navio, pode-se ler diretamente marcações verdadeiras no radiogoniômetro.

Figura 35.12 – Radiogoniômetro Automático com Indicador Analógico (Rosa Graduada)

f. TIPOS DE RADIOGONIÔMETRO

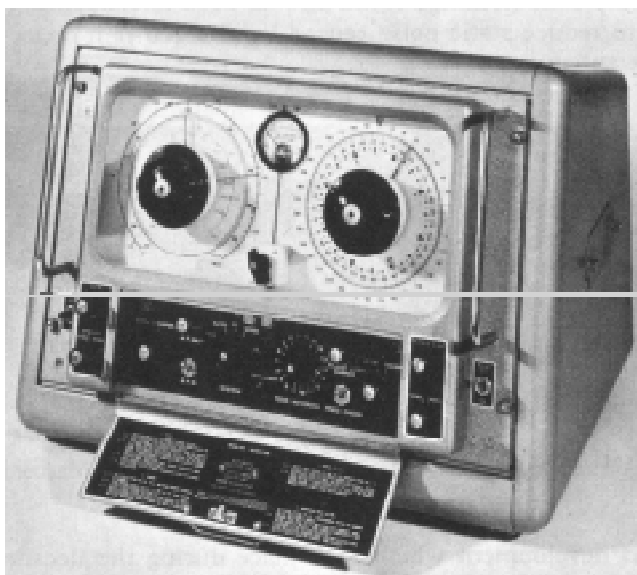
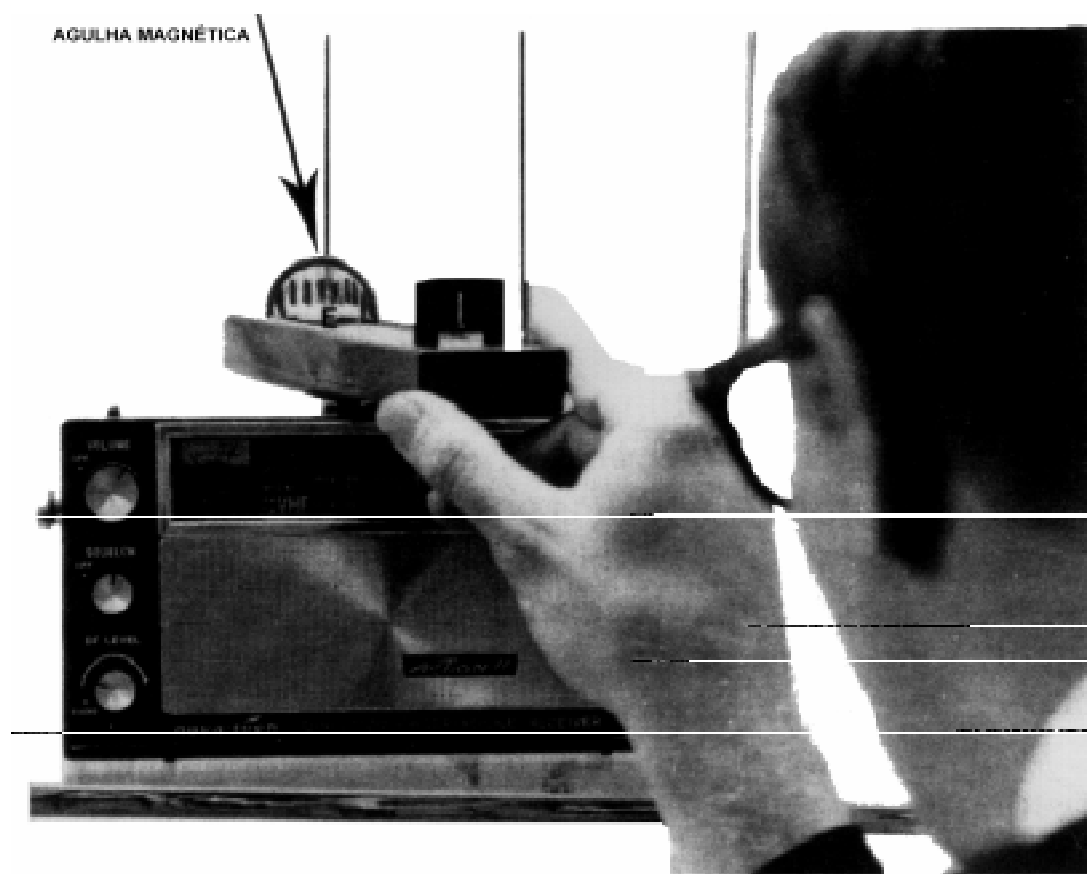
Os radiogoniômetros são classificados em **manuais** e **automáticos**. Equipamento manual é aquele em que o operador deve girar a antena e, através da manipulação de diversas chaves e botões, efetuar a determinação do mínimo de sinal em uma saída de áudio (fones ou alto-falantes), a fim de obter a direção e o sentido das ondas radioelétricas, ou seja, a **marcação radiogoniométrica**.

Nos radiogoniômetros automáticos (ADF = “automatic direction finders”), o operador só necessita ligar o aparelho e sintonizar o radiofarol que deseja marcar; isto é feito, normalmente, na posição de **recepção (REC)**. Em seguida, o operador seleciona a posição **ADF** (“automatic direction finding”) e o equipamento executa, automaticamente, a busca da direção e do sentido de onde vêm as ondas de rádio, determinando, assim, a **marcação radiogoniométrica** e a apresentando em um mostrador digital, ou visualmente, num tubo de raios catódicos (VRC), ou por meio de um ponteiro, que indica a marcação em uma rosa de leitura. Alguns aparelhos possuem os dois modos de operação (manual e automático).

Além disso, os radiogoniômetros podem ser fixos ou portáteis. Os equipamentos fixos (figura 35.13) utilizam antenas de quadro instaladas no tijupá, sendo mais apropriados para navios maiores. Uma das vantagens dos equipamentos fixos é que pode ser escolhida para a antena uma posição favorável, tendo em vista a massa metálica e o campo eletromagnético do próprio navio, de modo a reduzir e regularizar os desvios. Ademais, o radiogoniômetro com antena de quadro fixa permite que as marcações radiogoniométricas sejam tomadas com conforto, uma vez que o receptor fica instalado no camarim de navegação ou passadiço, enquanto o radiogoniômetro portátil deve ser usado no convés aberto.

Os veleiros, lanchas e outras embarcações menores normalmente utilizam radiogoniômetros portáteis. Além do modelo mostrado na figura 35.10, outro tipo de equipamento portátil de radiogoniometria (figura 35.13a) contém a sua própria agulha magnética (bússola) e o **nulo** (marcação do radiofarol), ao ser encontrado (girando o equipamento), é determinado através da simples leitura da agulha do instrumento. Como esta agulha é considerada, para efeitos práticos, isenta de desvios, a leitura corresponde à marcação magnética do radiofarol, bastando corrigi-la do valor da declinação magnética local, para obter-se a marcação verdadeira do radiofarol.

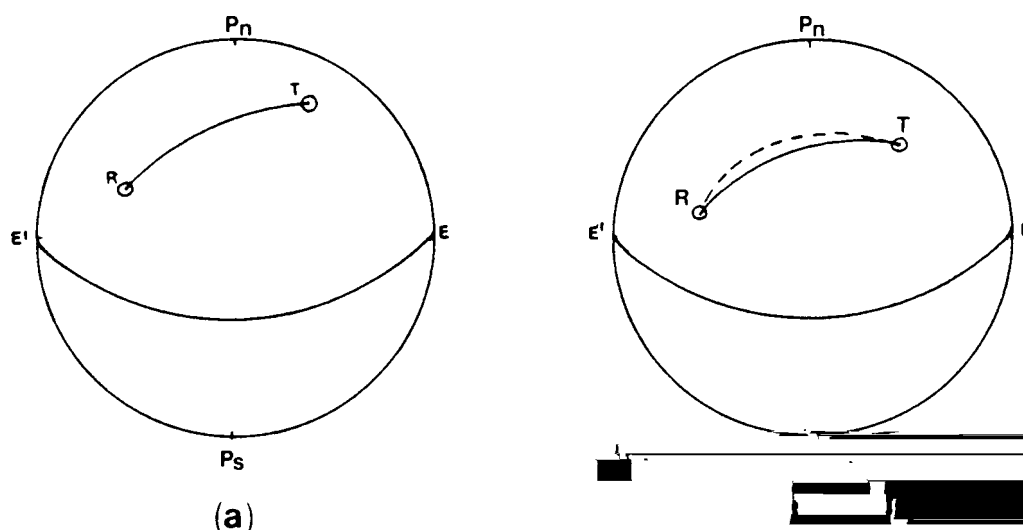
Quase todos os radiogoniômetros deste tipo têm um botão para travamento da leitura da agulha no momento em que, girando o equipamento, encontra-se, por forma auditiva, o **nulo**. Tal recurso é muito útil quando, com o movimento da embarcação, ou à noite, houver dificuldade para leitura precisa da agulha.

Figura 35.13 – Radiogoniômetro Fixo**Figura 35.13a – Radiogoniômetro Portátil com Bússola**

35.2 PERCURSO DAS ONDAS RADIOELÉTRICAS ENTRE O TRANSMISSOR E O RECEPTOR. DESVIOS DO RADIOGONIÔMETRO

As ondas radioelétricas, ao se propagarem do **transmissor (T)** para o **receptor (R)**, percorrem o arco de círculo máximo entre os dois pontos, que é a menor distância entre eles (figura 35.14a). Contudo, às vezes, devido a fatores abordados no capítulo anterior (efeitos da **refração da costa**, **efeito noturno** ou **perturbação atmosférica**), o percurso da onda de rádio é alterado e o sinal alcança o receptor por outro caminho, diferente da ortodrômica, conforme indicado na figura 35.14b, por uma linha tracejada. Quando isso ocorre, há um desvio da marcação radiogoniométrica, representado pelo ângulo formado entre as duas direções traçadas na figura 35.14b.

Figura 35.14 – Percurso das Ondas de Rádio entre o Transmissor e o Receptor

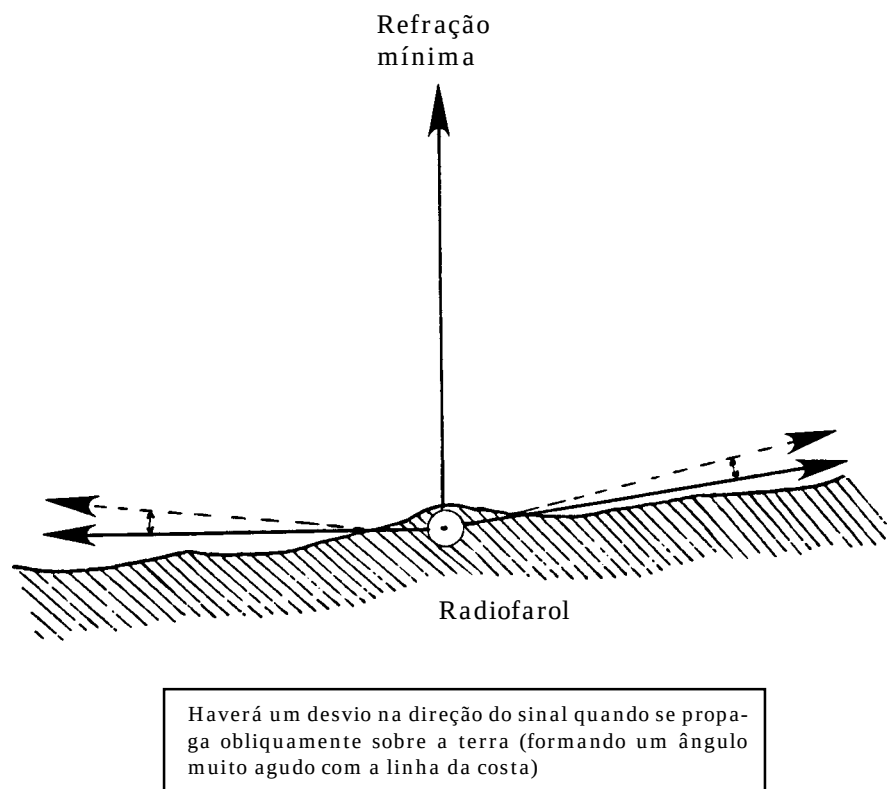


Este desvio, devido a causas externas, não pode ser determinado. O que se pode fazer é evitar tomar marcações radiogoniométricas quando seus efeitos estiverem presentes.

A **refração da costa**, ou **efeito terrestre**, estudada no capítulo anterior, ocorre quando a onda de rádio cruza obliquamente a linha limite entre a terra e o mar (figura 35.15). A refração resultante introduz um desvio na direção da onda radioelétrica, que pode alcançar 4° a 5°. A refração da costa aumenta com a diminuição do ângulo entre o trajeto da onda de rádio e a linha de costa, além de crescer, também, com o aumento da frequência. O efeito terrestre é mínimo quando o trajeto da onda de rádio é perpendicular à linha de costa. A **refração da costa** é minimizada para os radiofaróis marítimos, que, quase sempre, estão situados muito próximos do litoral.

Para evitar o **efeito terrestre**, não se devem tomar marcações que formem ângulos muito agudos com a linha de costa. Sempre que possível, esse ângulo deve ser maior que 20°. Além disso, deve-se evitar marcar radiofaróis muito interiorizados, tais como alguns radiofaróis aeronáuticos que, embora constem da Lista de Auxílios-Rádio, estão relativamente afastados da linha de costa.

Figura 35.15 – Refração da Costa



O **efeito noturno** deve-se às rápidas alterações que ocorrem na ionosfera, nas faixas **E** e **F**, especialmente por ocasião dos crepúsculos, mas, também, durante a noite (embora em menor escala).

Assim, o **efeito noturno**, apesar do nome, é mais marcante nos crepúsculos vespertino e matutino. Devido a ele, nesses períodos as ondas radioelétricas são menos precisas no que se refere à sua direcionalidade. Sendo causado por variações ionosféricas, o **efeito noturno** está relacionado às **ondas celestes**, ou **ondas refletidas**, não ocorrendo dentro da **distância de silêncio**, onde só chegam ao receptor **ondas terrestres**. Os principais sintomas do **efeito noturno** são:

1. O mínimo de sinal (que indica a direção da estação transmissora) muda constantemente de posição na rosa de marcação do radiogoniômetro;
2. o mínimo de sinal apresenta-se bem definido, porém deslocado da verdadeira direção;
3. o mínimo apresenta-se indefinido, cobrindo uma faixa muito larga, que pode alcançar 20°; e
4. há excesso de ruído na recepção e grande variação da intensidade do sinal, que, por vezes, se desvanece completamente.

Para evitar o **efeito noturno**, não se devem fazer marcações radiogoniométricas nos períodos de cerca de 1 hora em torno do ocaso e do nascer do Sol (de meia hora antes a meia hora depois desses fenômenos) e, durante a noite, só tomar marcações usando ondas terrestres, ou seja, estando o navio, no máximo, de 25 a 30 milhas da estação transmissora.

Além disso, para minimizar o **efeito noturno**, deve ser tomada a média de várias leituras da marcação radiogoniométrica, pois, normalmente, o erro em direção introduzido pelo **efeito noturno** é variável para um e para o outro lado do valor verdadeiro da marcação da estação transmissora. Por esta razão, pode-se compensar em parte o **efeito noturno** tomando a média de várias leituras.

Certos fenômenos meteorológicos (ou **perturbações atmosféricas**) afetam o estado elétrico da atmosfera, produzindo desvios na direção das ondas de rádio, cujos valores não podem ser previstos. Estes fenômenos se evidenciam por ruídos na recepção e variações na intensidade do sinal recebido. Nestas circunstâncias, não devem ser tomadas marcações radiogoniométricas.

Além dos desvios acima explicados, a onda de rádio sofre influência do campo eletromagnético do próprio navio onde está instalado o radiogoniômetro. Os radiogoniômetros instalados a bordo estão expostos a perturbações, de forma semelhante às agulhas magnéticas. A massa metálica do navio e sua distribuição com relação à antena de quadro introduzem um desvio na direção das ondas radioelétricas. Este desvio, devido a causas internas, pode ser determinado e é denominado **desvio do radiogoniômetro (Drg)**.

Tal como o desvio da agulha magnética, o **Drg** também varia com a marcação relativa da estação transmissora. Ademais, varia, ainda, com a condição de carga do navio (pois a massa metálica será função do calado) e com a frequência da onda recebida (o desvio aumenta com o aumento da frequência).

Em geral, quando se instala um **radiogoniômetro** a bordo, os técnicos buscam colocar a antena em local livre de perturbações magnéticas, tratando, também, de compensar os desvios identificados. A operação de reduzir ou eliminar os desvios denomina-se **compensação** do radiogoniômetro. Entretanto, é normalmente impossível eliminá-los totalmente, restando desvios residuais, que devem ser considerados na obtenção das marcações. A operação de determinar os desvios residuais denomina-se **calibragem** do radiogoniômetro. A **compensação** é da alçada de técnicos especializados em radiogoniometria, mas a **calibragem** deve ser feita pelo pessoal de bordo.

Como resultado da **calibragem** (cujo procedimento será adiante explicado), obtém-se uma **Curva de Desvios do Radiogoniômetro**, que deve ser consultada sempre que se tomar uma marcação radiogoniométrica. A Curva de Desvios fornece o valor do desvio em função da marcação relativa do radiofarol, de modo que:

$$\begin{array}{c} \boxed{\text{Drg} = \text{Mrel} - \text{Mrg}} \\ \text{ou:} \quad \boxed{\text{Mrel} = \text{Mrg} + \text{Drg}} \end{array}$$

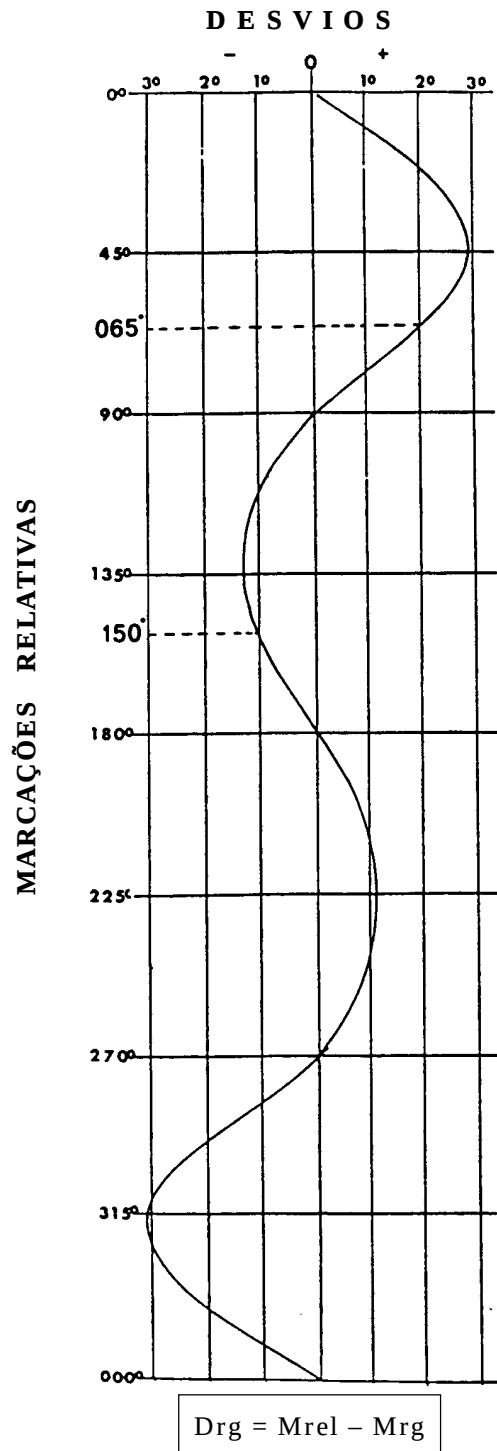
Então, entra-se na curva com a marcação lida no radiogoniômetro (Mrg) e obtém-se o valor do desvio (Drg). Somando-se o desvio (com o seu respectivo sinal) à leitura do radiogoniômetro (Mrg), determina-se a marcação relativa (Mrel) da estação transmissora (radiofarol). Combinando-se este último valor com o Rumo verdadeiro do navio, obtém-se a **marcação radiogoniométrica verdadeira** do radiofarol.

EXEMPLOS:

1. Um navio navegando no rumo verdadeiro 145°, efetuou a marcação radiogoniométrica do Radiofarol Calcanhar (“DA”, 305 kHz), obtendo: Mrg = 065°. Considerando a

Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada sua figura 35.16, determinar a marcação relativa correta e a marcação radiogoniométrica verdadeira do radiofarol.

Figura 35.16 – Curva de Desvios do Radiogoniômetro



SOLUÇÃO:

a. Entrando na curva de desvios com $Mrg = 065^\circ$, obtém-se: $Drg = + 2^\circ$.

b. Então:

$$\begin{array}{r} Mrg = 065^\circ \\ Drg = + 2^\circ \\ \hline Mrel = 067^\circ \end{array}$$

c. Como o rumo verdadeiro do navio é 145° , teremos:

$$\begin{aligned} R &= 145^\circ \\ M_{rel} &= 067^\circ \\ M_v (CM) &= 212^\circ \end{aligned}$$

2. Um navio navegando no Rumo verdadeiro 180° , marcou com o radiogoniômetro o Radiofarol Abrolhos ("AV", 290 kHz), obtendo: $M_{rg} = 150^\circ$. Considerando a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16, determinar a marcação relativa correta e a marcação radiogoniométrica verdadeira do radiofarol.

SOLUÇÃO:

a. Entrando na curva de desvios com $M_{rg} = 150^\circ$, obtém-se: $D_{rg} = -1^\circ$.

b. Então:

$$\begin{aligned} M_{rg} &= 150^\circ \\ D_{rg} &= -1^\circ \\ M_{rel} &= 149^\circ \end{aligned}$$

c. $R = 180^\circ$
 $M_{rel} = 149^\circ$
 $M_v (CM) = 329^\circ$

35.3 CORREÇÕES DA MARCAÇÃO RADIOGONIOMÉTRICA

CORREÇÃO DO DESVIO DO RADIOGONIÔMETRO

A primeira correção, como vimos, é a do **desvio do radiogoniômetro**, fornecida pela **Curva de Desvios** do equipamento. Entra-se na curva com a leitura do radiogoniômetro (marcação radiogoniométrica), que é uma marcação relativa, obtendo-se o valor do **Drg**, com o respectivo sinal.

Somando-se o **desvio** com a **marcação radiogoniométrica**, determina-se a **marcação relativa** correta do radiofarol. Combinando-se este valor com o **Rumo verdadeiro**, obtém-se a **marcação verdadeira radiogoniométrica** do radiofarol.

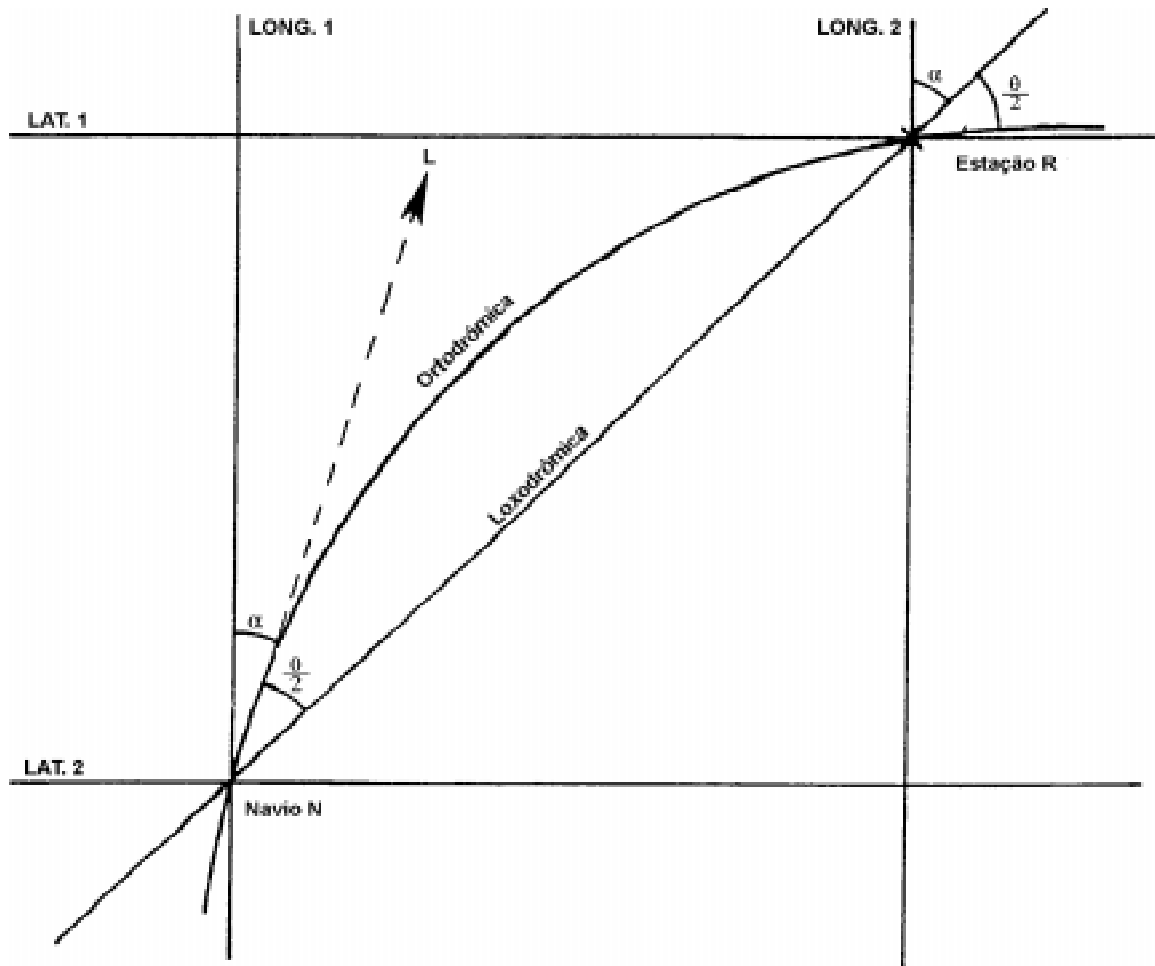
Esta marcação, entretanto, ainda não pode ser traçada diretamente na carta náutica construída na Projeção de Mercator (Carta de Mercator), pois é um **arco de círculo máximo** (como vimos, a onda radioelétrica propaga-se do transmissor para o receptor segundo uma **ortodromia**). Conforme sabemos, um arco de círculo máximo é representado na Carta de Mercator por uma curva complexa. É necessário, então, transformar a **marcação-rádio (marcação em círculo máximo)** em **marcação loxodrômica**, que será traçada como uma linha reta na Carta de Mercator.

CORREÇÃO PARA TRANSFORMAÇÃO DA MARCAÇÃO RÁDIO EM MARCAÇÃO LOXODRÔMICA

A **marcação radiogoniométrica 09 TD0.0420.0420**

transportada para a estação **R**, iria deslocar o navio muito para o Sul de sua verdadeira posição. Isto nos indica que, antes de traçar a marcação-rádio na Carta de Mercator, deve-se lhe aplicar uma correção igual à diferença entre o rumo ortodrômico e o rumo loxodrômico transmissor/receptor. No caso da figura 35.17, a correção será positiva.

Figura 35.17 – Correção da Marcação Rádio



Esta correção é igual à **semiconvergência dos meridianos** entre o transmissor e o receptor, sendo também conhecida como **correção de Givry**, nome do especialista que primeiro a determinou.

A **trigonometria esférica** nos mostra que a **convergência de meridianos (C)** entre dois pontos é dada pela seguinte fórmula:

$$C = D\lambda \cdot \sin j_m$$

Onde:

$$D\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 \quad \text{e} \quad j_m = \frac{j_1 + j_2}{2}$$

A correção (c), igual à **semiconvergência**, será, portanto:

$$c = 1/2 C = \frac{1}{2} D\lambda \cdot \sin j_m$$

O valor da correção (c), calculado pela fórmula acima, é dado pela tabela reproduzida na figura 35.18.

Figura 35.18 – Conversão da Marcação Rádio em Marcação de Mercator

Correção a aplicar à marcação rádio para convertê-la em marcação de Mercator

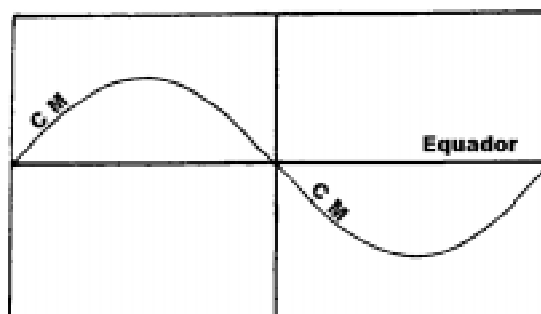
Diferença de longitude															
Lat. Média	1°	1,5°	2°	2,5°	3°	3,5°	4°	4,5°	5°	5,5°	6°	6,5°	7°	7,5°	Lat. Média
4	...	...	...	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	4
5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	5
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	6
7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	7
8	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	8
9	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	9
10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	10
11	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	11
12	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	12
13	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	13
14	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	14
15	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	15
16	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	16
17	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	17
18	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	18
19	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	19
20	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	20
21	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,4	21
22	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	22
23	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	23
24	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	24
25	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	25
26	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	26
27	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	27
28	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	28
29	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	29
30	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	30
31	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	31
32	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	32
33	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	33
34	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	34
35	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	35
36	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	36
37	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	37
38	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	38
39	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	39
40	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	40
41	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	41
42	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	42
43	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	43
44	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	44
45	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	45
46	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	46
47	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	47
48	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	48
49	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	49
50	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	50
51	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	51
52	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	52
53	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	53
54	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	54
55	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	55
56	0,4	0,6	0,8	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	56
57	0,4	0,6	0,8	1,1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	57
58	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	58
59	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	59
60	0,4	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	60

NOTA – Não confundir esta tábua com uma tábua de desvios do radiogoniômetro.

Para empregar a tabela, utiliza-se a **posição estimada** do navio no instante da marcação radiogoniométrica. Entra-se com a **diferença de Longitude (Dl)** entre a posição estimada do navio e a estação, como argumento horizontal, e com a **Latitude média (jm)** entre a posição estimada do navio e a estação, como argumento vertical. No cruzamento, retira-se o valor da correção a ser aplicada à **marcação em círculo máximo**, para transformá-la em **marcação loxodrômica**, a ser traçada como uma linha reta na Carta Náutica (Carta de Mercator).

Visto como se determina o valor da correção (c), estudemos o seu sinal. No Capítulo 33, quando abordamos a **navegação ortodrômica**, vimos que os **círculos máximos (CM)**, ao serem traçados em uma Carta de Mercator, apresentam-se como linhas curvas, com a concavidade sempre voltada para o Equador (figura 35.19).

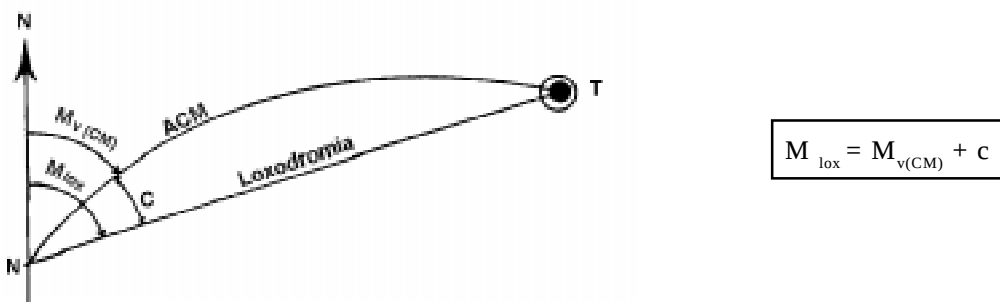
Figura 35.19 – Círculo Máximo Traçado na Carta de Mercator



Então, podemos apresentar os quatro casos possíveis para determinação do sinal da correção da semiconvergência dos meridianos, ou correção Givry:

a. No Hemisfério Norte, com o navio (N) a Oeste do radiofarol (T), a correção é aditiva, conforme mostrado na figura 35.20;

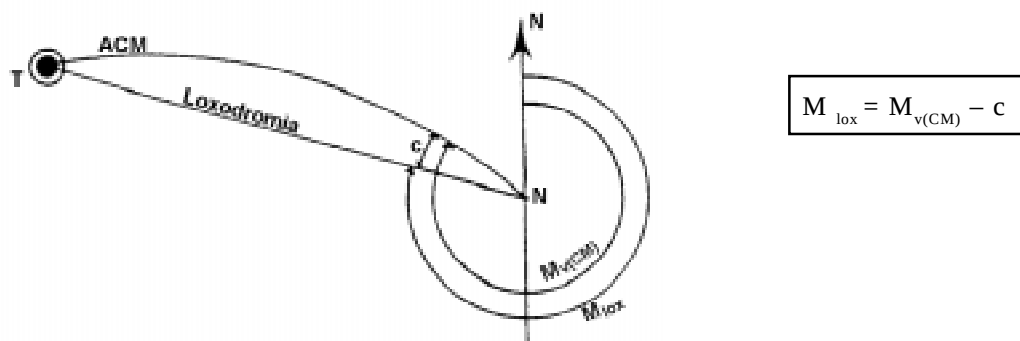
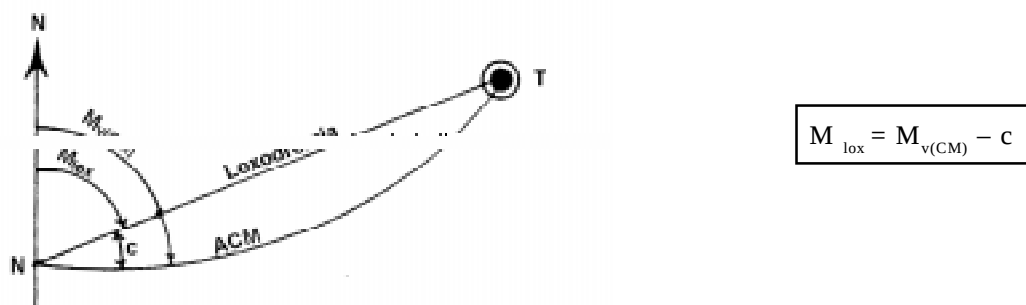
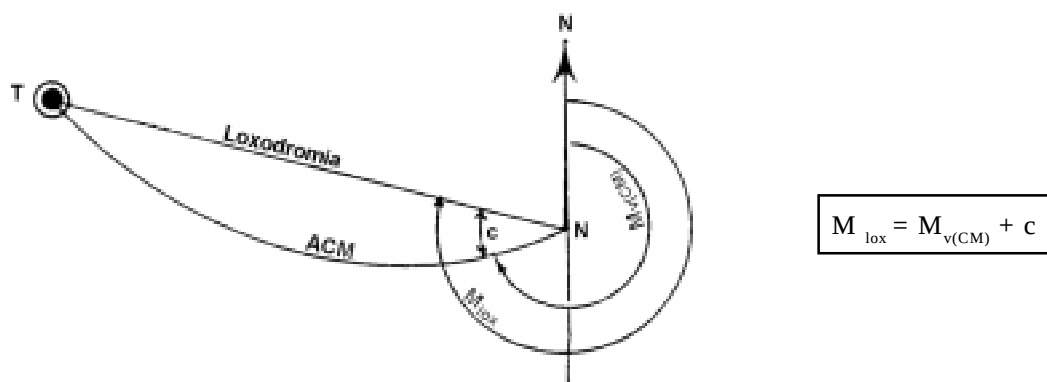
Figura 35.20 – Hemisfério Norte, Navio a Oeste da Estação: Correção Positiva



b. No Hemisfério Norte, com o navio (N) a Leste do radiofarol (T), a correção é subtrativa, conforme mostrado na figura 35.21;

c. No Hemisfério Sul, com o navio (N) a Oeste do radiofarol (T), a correção é subtrativa, conforme mostrado na figura 35.22; e

d. No Hemisfério Sul, com o navio (N) a Leste do radiofarol (T), a correção é aditiva, como mostrado na figura 35.23.

Figura 35.21 – Hemisfério Norte, Navio a Leste da Estação: Correção Negativa**Figura 35.22 – Hemisfério Sul, Navio a Oeste da Estação: Correção Negativa****Figura 35.23 – Hemisfério Sul, Navio a Leste da Estação: Correção Positiva**

Resumindo:

Hemisfério Norte	navio a E da estação	correção: –
Hemisfério Norte	navio a W da estação	correção: +
Hemisfério Sul	navio a W da estação	correção: –
Hemisfério Sul	navio a E da estação	correção: +

Assim, por exemplo, na costa E brasileira, o navio estará sempre a Leste dos radiofaróis situados no continente e, sendo Hemisfério Sul, a correção (c) será sempre

positiva. Quando se estiver marcando um radiofarol em ilha (como Abrolhos ou Fernando de Noronha), o navio poderá estar a W da estação e, então, a correção será negativa.

Da fórmula da semiconvergência dos meridianos:

$$c = 1/2 C = \frac{1}{2} D\lambda \cdot \sin j_m$$

conclui-se que, se $D\lambda = 0^\circ$, isto é, se o navio e a estação estão sobre o mesmo meridiano, a correção será igual a zero, pois a onda de rádio se propaga pelo mesmo meridiano, que, embora sendo um arco de círculo máximo, é representado por uma linha reta na Carta de Mercator.

Da mesma forma, se $j_m = 0^\circ$, tem-se $\sin j_m = 0$ e a correção também será igual a zero, ou seja, se o navio e a estação estão sobre o Equador, ou em Latitudes simétricas (de valor igual, mas em hemisférios diferentes), a correção será nula.

Então, se tomarmos uma marcação radiogoniométrica a 200 milhas da estação nas vizinhanças do Equador, ou na direção aproximada Norte-Sul, a correção será nula, enquanto que uma outra tomada a 50 milhas da estação, em alta Latitude e/ou em uma direção Leste-Oeste, exigirá uma correção significativa.

Pelas razões expostas, é melhor sempre determinar a correção, qualquer que seja a distância entre o navio e o radiofarol, não considerando a recomendação de alguns textos de navegação, no sentido de que, em distâncias menores que 50 milhas, a correção é desprezível, podendo-se traçar diretamente a marcação radiogoniométrica verdadeira (em círculo máximo) na Carta Náutica.

Na costa brasileira, em virtude dos valores relativamente baixos da Latitude média, a correção só é significativa quando a distância do navio ao radiofarol é de 200 milhas, ou mais, e sendo a direção da marcação aproximadamente E-W (ou seja, a diferença de Longitude entre o navio e a estação será igual ou maior que 4°). Assim, para a maioria dos propósitos práticos, a correção poderá ser desprezada.

EXEMPLOS:

1. Navegando no rumo verdadeiro $R = 030^\circ$, na posição estimada Latitude $30^\circ 14,0' S$, Longitude $045^\circ 17,0' W$, o navio marcou um radiofarol situado na posição Latitude $31^\circ 46,0' S$, Longitude $048^\circ 47,0' W$, tendo obtido $Mrg = 315^\circ$. Considerando a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16 e a tabela da figura 35.18, determinar o valor da marcação verdadeira, a ser traçada na Carta Náutica.

SOLUÇÃO:

a. Entrando na Curva de Desvios do Radiogoniômetro (figura 35.16), com $Mrg = 315^\circ$, obtém-se: $Drg = -3^\circ$

b. Então:

$$\begin{array}{r} Mrg = 315^\circ \\ Drg = -3^\circ \\ \hline Mrel = 312^\circ \end{array}$$

$$\begin{array}{r} c. \quad R = 030^\circ \\ Mrel = 312^\circ \\ \hline Mv (CM) = 342^\circ \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{d.} & j_e = 30^\circ 14,0'S & l_e = 045^\circ 17,0'W \\
 & j_R = 31^\circ 46,0'S & l_R = 048^\circ 47,0'W \\
 \hline
 & S = 62^\circ & Dl = 03^\circ 30,0'W \\
 & j_m = 31^\circ S & Dl = 3,5^\circ W
 \end{array}$$

e. Entrando na tabela da figura 35.18 com $Dl = 3,5^\circ$ como argumento horizontal e $j_m = 31^\circ$ como argumento vertical, obtém-se:

$$c = + 0,9^\circ @ + 1,0^\circ$$

f. O sinal da correção é positivo, pois trata-se do Hemisfério Sul, estando o navio a Leste da estação.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{g. Assim:} & M_v (CM) = 342^\circ & \\
 & c = + 1^\circ & \\
 \hline
 & M_v = 343^\circ &
 \end{array}$$

2. Navegando no rumo verdadeiro $R = 190^\circ$, na posição estimada Latitude $16^\circ 02,0' S$, Longitude $036^\circ 42,0' W$, o navio marcou o Radiofarol Abrolhos (Latitude $17^\circ 58,0' S$, Longitude $038^\circ 42,0' W$) na $Mrg = 045^\circ$. Considerando a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16 e a tabela da figura 35.18, determinar o valor da marcação verdadeira, a ser traçada na Carta Náutica.

SOLUÇÃO:

a. Entrando na Curva de Desvios do Radiogoniômetro com $Mrg = 045^\circ$, obtém-se:

$$Drg @ + 3^\circ.$$

b. Então:

$$\begin{array}{rcl}
 Mrg & = & 045^\circ \\
 Drg & = & + 3^\circ \\
 \hline
 Mrel & = & 048^\circ
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{c.} & R = 190^\circ & \\
 & Mrel = 048^\circ & \\
 \hline
 & M_v (CM) = 238^\circ &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{d.} & j_e = 16^\circ 02,0'S & l_e = 036^\circ 42,0' W \\
 & j_R = 17^\circ 58,0'S & l_R = 038^\circ 42,0' W \\
 \hline
 & S = 34^\circ & Dl = 02^\circ W \\
 & j_m = 17^\circ S &
 \end{array}$$

e. Entrando na tabela da figura 35.18, obtém-se: $c = + 0,3^\circ @ 0^\circ$.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{f.} & M_v (CM) = 238^\circ & \\
 & c @ 0^\circ & \\
 \hline
 & M_v = 238^\circ &
 \end{array}$$

3. O Veleiro de Oceano “Orion” navega no $Rag = 080^\circ$. A Curva de Desvios da Agulha Magnética apresenta, para essa proa, um desvio igual a $Dag = 3^\circ E$ e, na região, o valor da $Dec\ mg = 21^\circ W$. Marca-se, então, um radiofarol na $Mrg = 110^\circ$. Determinar o valor da marcação verdadeira a ser traçada na Carta Náutica, sabendo que a Latitude média entre a posição estimada do VO e a estação é $32^\circ S$ e que a diferença de Longitude é de 6° , estando a embarcação a Oeste do radiofarol (usar a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16 e a tabela da figura 35.18).

SOLUÇÃO:

a. Na curva de Desvios do Radiogoniômetro:

$$\text{Mrg} = 110^\circ \text{ Drg} = -1^\circ$$

b. Então:

$$\begin{array}{r} \text{Mrg} = 110^\circ \\ \text{Drg} = -1^\circ \\ \hline \text{Mrel} = 109^\circ \end{array}$$

c.

$$\begin{array}{r} \text{Rag} = 080^\circ \\ \text{Dag} = 03^\circ \text{ E} \\ \hline \text{R mg} = 083^\circ \\ \text{Dec mg} = 21^\circ \text{ W} \\ \hline \text{R} = 062^\circ \end{array}$$

d.

$$\begin{array}{r} \text{R} = 062^\circ \\ \text{Mrel} = 109^\circ \\ \hline \text{Mv (CM)} = 171^\circ \end{array}$$

e.

$$\begin{array}{r} \text{jm} = 32^\circ \text{ S} \\ \text{Dl} = 6^\circ \\ \text{c} = -1,6^\circ @ -2^\circ \text{ (tabela da figura 35.18)} \end{array}$$

f. O sinal da correção é negativo, pois, sendo o Hemisfério Sul, o veleiro está a W do radiofarol.

g.

$$\begin{array}{r} \text{Mv (CM)} = 171^\circ \\ \text{c} = -2^\circ \\ \hline \text{Mv} = 169^\circ \end{array}$$

NOTA:

Para entrada na tabela da figura 35.18, que fornece o valor da correção (c), a ser aplicada à marcação-rádio, para convertê-la em marcação loxodrômica, a Latitude média entre a posição estimada do navio e o radiofarol deve ser arredondada ao grau inteiro e a diferença de Longitudes arredondada ao meio grau. Após obter o valor da correção (c), arredondá-lo para o grau inteiro mais próximo.

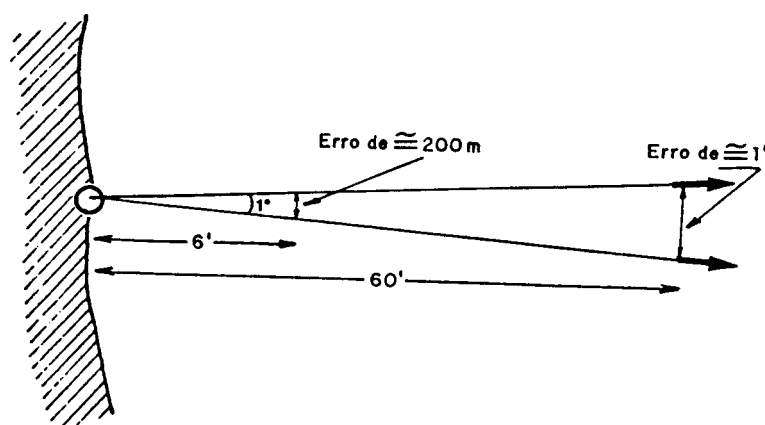
35.4 DETERMINAÇÃO E PRECISÃO DA POSIÇÃO RADIOGONIOMÉTRICA

Uma vez transformada em marcação de Mercator, a marcação radiogoniométrica deve ser traçada na carta, segundo uma loxodromia. Considerando, porém, que a utilização do radiogoniômetro está sujeita a todas as causas de erro citadas, deve-se traçar, partindo da estação transmissora, de um e outro lado da linha de marcação, retas que formam com ela um ângulo igual ao erro provável da linha de posição (figura 35.24).

O valor angular da faixa deverá ser decidido pelo navegante, mas pode-se afirmar que uma boa marcação radiogoniométrica terá um erro provável de 1° ou, no máximo, 2° . Se julgarmos, por exemplo, que o erro provável é de 1° e o valor da marcação for 265° , como na figura 35.24, traçaremos, também, a partir do radiofarol, as marcações de 264° e 266° e a faixa entre elas é que deve ser considerada.

Figura 35.24 – Erro Provável na Marcação Radiogoniométrica

Vemos, assim, que a precisão da linha de posição radiogoniométrica depende, também, da distância da estação ao navio. Se a distância navio–estação for de 6 milhas, um erro de 1° na marcação deslocará a posição do navio de cerca de 200 metros; se a distância for de 60 milhas, o deslocamento será de 1 milha (figura 35.25). Um erro de 1° na marcação causa um erro de aproximadamente 1,75 milha em cada 100 milhas de distância do transmissor. Por isso, qualquer marcação de um radiofarol feita a mais de 50 milhas deve ser tratada com cuidado.

Figura 35.25 – Influência da Distância no Erro da LDP

A reta de marcação radiogoniométrica pode ser combinada com linhas de posição determinadas por outros métodos, levando-se em conta, naturalmente, a precisão relativa de cada uma delas.

Pode-se, também, determinar a posição do navio pelo cruzamento de marcações radiogoniométricas de diversos radiofaróis ou, ainda, por duas marcações de uma mesma estação, conhecida a distância navegada entre elas.

No caso da marcação de dois radiofaróis (figura 35.26), considerando as faixas de erros prováveis ficará formado um quadrilátero e o navio deve ser posicionado no vértice que resulte mais perigoso ou desfavorável à navegação.

Quando forem marcadas três estações, quase sempre se formará um triângulo (figura 35.27). Quando o triângulo é pequeno, seu centro pode ser considerado como a posição do navio, sendo um ponto de razoável confiança (posição mais provável do navio). A figura 35.27 também indica, nas áreas tracejadas, outras posições prováveis.

A figura 35.28 ilustra o caso de se determinar a posição do navio por duas marcações sucessivas de um mesmo radiofarol, conhecida a distância navegada entre elas.

Na figura, supõe-se que um navio, navegando aos 220° verdadeiros, marcou a estação **T** aos 300° e, depois de percorrer a distância **d**, marcou-a novamente aos 330° . Traçadas as marcações radiogoniométricas, tal como já foi explicado, procura-se, com a distância **d** orientada segundo o rumo do navio, determinar os pontos A_1 e B_1 , A_2 e B_2 , A_3 e B_3 , e A_4 e B_4 . O quadrilátero tracejado contém a posição provável do navio por ocasião da segunda marcação. Na prática, entretanto, não se recomenda o uso de marcações radiogoniométricas sucessivas, pois a distância a ser navegada para se obter um ângulo de corte favorável é muito grande (visto que se supõe navegar bem ao largo), aumentando o erro na estima, o que, combinado com os erros prováveis nas marcações-rádio, redundaria em um ponto de exatidão muito pobre.

Figura 35.26 – Posição por Duas Marcações Radiogoniométricas (Quadrilátero de Incerteza)

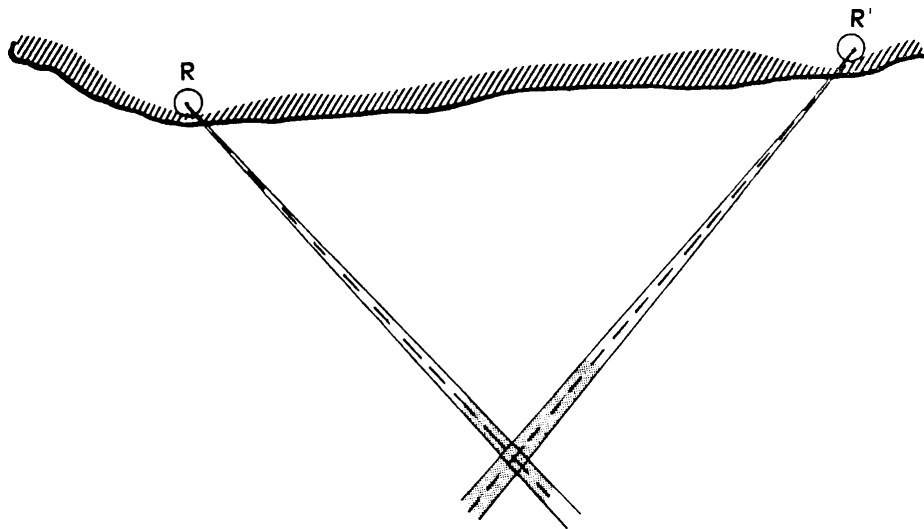


Figura 35.27 – Posição por Três Marcações Radiogoniométricas

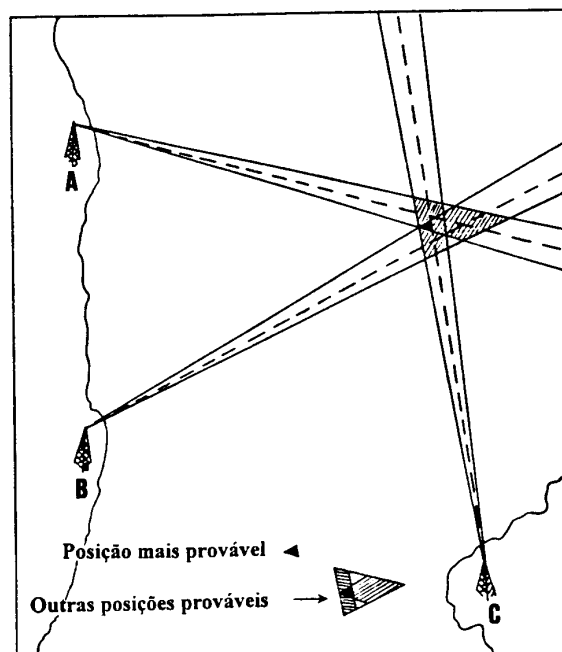
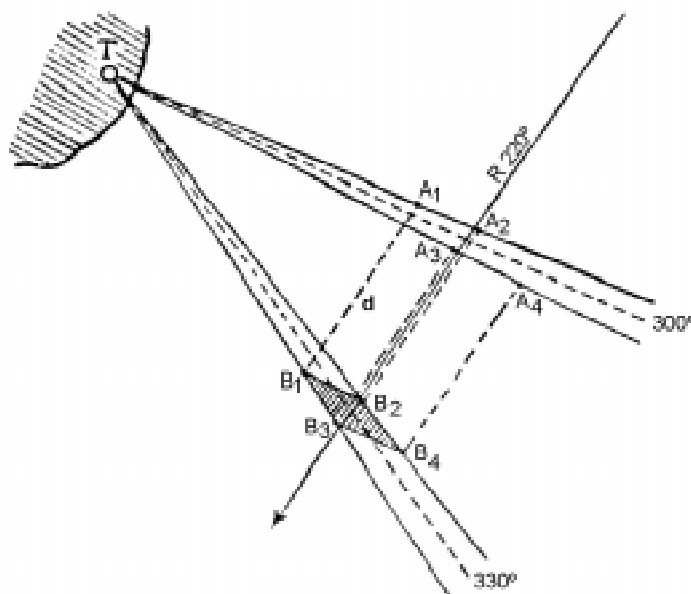


Figura 35.28 – Posição por Marcações Sucessivas



35.5 USO DO RADIOGONIÔMETRO NA ATERRAGEM (“HOMING”)

Uma das maiores utilidades do **radiogoniômetro** na navegação refere-se ao seu emprego na **aterragem (“homing”)**, técnica que consiste em manter a estação marcada diretamente pela proa. Nas aterragens, o navio marca o radiofarol e aproa ao mesmo. Então, as ondas de rádio passam a ser recebidas diretamente pela proa (marcação relativa igual a zero). Mantendo sempre esta marcação relativa, o navio aterrará no ponto desejado, mesmo não tendo sua posição perfeitamente conhecida.

A técnica de **“homing”** deve ser aplicada com precaução, pois, não havendo qualquer informação de distância ao ponto de aterragem, dele poderemos nos aproximar de forma súbita e perigosa.

A técnica de **“homing”** é, também, muito importante em operações de busca e salvamento – SAR (“search and rescue”). Se a embarcação sinistrada dispuser de um transmissor, navios ou aeronaves de busca e salvamento, equipados com radiogoniômetro, poderão rumar para o local do incidente utilizando esta técnica.

35.6 RADIOFARÓIS E ESTAÇÕES RADIOGONIOMÉTRICAS

a. RADIOFARÓIS

Radiofaróis são estações transmissoras de sinais-rádio especiais, cujas emissões se destinam a permitir a obtenção de sua direção (marcação) a bordo de uma estação móvel (navio, embarcação ou aeronave) equipada com radiogoniômetro.

Os **radiofaróis** são classificados em três tipos:

– **radiofaróis direcionais**, que transmitem sinais-rádio dentro de um setor, normalmente entre 15° e 30°, destinados a fornecer um rumo de governo definido. O navegante, conhecendo o setor dentro do qual são irradiados os sinais, tem a certeza de estar rumando para o radiofarol, desde que se mantenha na faixa de recepção do sinal. Os radiofaróis deste tipo são usados principalmente na **navegação aérea** e não existem no Brasil destinados à **navegação marítima**;

– **radiofaróis rotativos**, que transmitem um feixe direcional de onda-rádio, com movimento rotativo uniforme, de maneira semelhante ao feixe luminoso emitido por certos faróis. Pode-se considerar o radiofarol como tendo uma linha de intensidade mínima, girando com velocidade uniforme, de 000° a 360°, no tempo dado pelas características da estação, de maneira que, no início de cada período, esta linha esteja dirigida para o Norte verdadeiro. A marcação do sinal é determinada por meio de um receptor comum e um cronógrafo. Desde que o navegante possa marcar o tempo decorrido entre a passagem da linha de intensidade mínima pelo meridiano e o instante em que, com um receptor comum, ouvir o som com a menor intensidade, fica em condições de obter a marcação (a determinação do instante em que a linha de intensidade mínima passa pelo meridiano é feita com o conhecimento das características do radiofarol rotativo que estiver sendo marcado). Os radiofaróis deste tipo não existem no Brasil, para a **navegação marítima**; e

– **radiofaróis circulares**, que transmitem sinais-rádio com a mesma intensidade, em todas as direções, permitindo aos navios obterem suas marcações por meio do radiogoniômetro. Este é o tipo mais comum de radiofarol e a ele pertencem todos os **radiofaróis** destinados à **navegação marítima** instalados no Brasil.

Os **radiofaróis para a navegação marítima** operam na faixa de frequências de 283,5 kHz a 330 kHz. A União Internacional de Telecomunicações (UIT) destina esta faixa, com exclusividade, para os **radiofaróis marítimos**, a fim de evitar interferências de outras emissões.

Os radiofaróis para navegação marítima instalados no Brasil estão sob a responsabilidade e fiscalização da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), sendo relacionados na publicação DH8 – Lista de Auxílios-Rádio (Capítulo 2), que apresenta as seguintes informações sobre cada estação:

- identificação do radiofarol (número de referência e nome);
- posição (Latitude e Longitude);
- frequência do sinal transmitido;
- tipo de emissão;
- potência;
- alcance em milhas náuticas;
- características do sinal; e
- estação GPS diferencial (DGPS), quando houver.

EXEMPLO:

2480. São Tomé (SK)
 Latitude 22° 02,52' S, Longitude 041° 03,22' W
 Frequência: 300 kHz. Emissão: A2A. Potência: 0,2 kw.
 Alcance: 300 M.
 Características do sinal: SK (... –.), com intervalo de 7,5 segundos.
 Equipado com DGPS.

Todos os radiofaróis para a navegação marítima localizados na costa do Brasil são radiofaróis circulares e têm horário de funcionamento contínuo.

Além disso, a Lista de Auxílios-Rádio também informa as características dos seguintes tipos de estação:

- Radiofaróis para a navegação aérea no Brasil, localizados próximo à costa;
- Radiofaróis para a navegação marítima e aérea localizados em países da América Latina e Caribe, em áreas abrangidas pelas Cartas Náuticas brasileiras; e
- Estações de radiodifusão comercial localizadas próximo do litoral, que, eventualmente, possam ser utilizadas para fins de radiogoniometria.

Os radiofaróis são representados nas cartas náuticas publicadas pela DHN, da seguinte maneira:

- cartas com escalas entre 1:50.000 e 1:150.000, pelo símbolo de radiofarol constante na publicação nº 12000 (Int. 1) da DHN, com informações adicionais de frequência, prefixo (em letras e código Morse), horário de funcionamento e estação GPS diferencial (quando houver); e
- cartas em outras escalas, apenas pelo símbolo e abreviatura de radiofarol circular (RC).

b. PRECAUÇÕES QUANTO AO USO DE RADIOFARÓIS AERONÁUTICOS E ESTAÇÕES COMERCIAIS DE “BROADCAST”

Conforme visto, além dos radiofaróis estritamente destinados à navegação marítima, o navegante também pode utilizar para radiogoniometria os radiofaróis aeronáuticos (AERO RC) e, eventualmente, as estações de radiodifusão comercial localizadas próximo do litoral.

O radiofarol aeronáutico é estabelecido para ser usado por aeronaves. Somente os selecionados como de uso provável na navegação marítima estão relacionados na Lista de Auxílios-Rádio e representados nas cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). É muito importante ter em mente os seguintes fatos, quando se utilizam radiofaróis aeronáuticos:

- a inclusão de um radiofarol aeronáutico na Lista de Auxílios-Rádio e na carta não significa que ele foi considerado confiável para a navegação marítima;
- não é possível prever a extensão em que o efeito terrestre pode ocasionar marcações duvidosas, em virtude da refração; e
- embora todo o esforço seja feito para publicar as modificações quando elas ocorrerem, as informações concernentes a alterações, mudanças de posição ou cancelamento de radiofaróis aeronáuticos podem não chegar à DHN para serem divulgadas por Avisos aos Navegantes.

Marcações radiogoniométricas de estações comerciais de “broadcast” só devem ser tomadas na falta de alternativas. Como vimos, a Lista de Auxílios-Rádio fornece, para as estações radiodifusoras comerciais próximas à costa, a posição geográfica da antena de transmissão, a frequência e a potência da emissão. Antes de traçar a marcação, a posição da antena deve ser plotada na carta. Devem ser evitadas marcações de estações de “broadcast” cujas antenas de transmissão fiquem muito interiorizadas.

c. ESTAÇÕES RADIOGONIOMÉTRICAS

São estações instaladas em terra, equipadas com radiogoniômetro, que marcam o navio, a pedido dele, e retransmitem para bordo o valor da marcação. As estações radiogoniométricas determinam e informam a direção de que recebem sinais radiotelegráficos transmitidos por outra estação (navio ou embarcação). As direções informadas já são, normalmente, corrigidas dos desvios da onda de rádio, exceto da diferença entre a linha de círculo máximo e a loxodrômica, e têm erro menor que 2°, para distâncias até 50 milhas. O navio que desejar sua marcação tomada por uma estação radiogoniométrica deve proceder da seguinte forma:

- chamar a estação na sua frequência de escuta e transmitir o sinal QTE ou QTF;
- aguardar o “pronto” da estação, que será dado com o indicativo desta, seguido da letra “K”;
- fazer a transmissão do seu indicativo de chamada, na frequência de marcação que a “Lista de Estações de Radiodeterminação e Serviços Especiais” deve informar, durante um tempo suficientemente longo (em geral, um minuto); a transmissão do indicativo pode ser combinada com algum sinal previamente estabelecido (abreviatura QTG);
- receber da estação o valor da marcação. Se a estação radiogoniométrica tiver conseguido efetuar a marcação, transmitirá a abreviatura QTE, precedida da hora da observação e seguida de um grupo de três algarismos (000 a 359), indicando, em graus, a marcação verdadeira do navio. Em caso contrário, pedirá ao navio que continue transmitindo seu indicativo de chamada;
- repetir, para a estação, a marcação que ela lhe transmitiu e aguardar a confirmação ou retificação; e
- havendo confirmação, esta será dada pelo sinal “fim de trabalho” (.. – . –), que deve ser repetido pelo navio.

No Brasil, não há estações radiogoniométricas abertas ao público.

35.7 CALIBRAGEM DO RADIOGONIÔMETRO

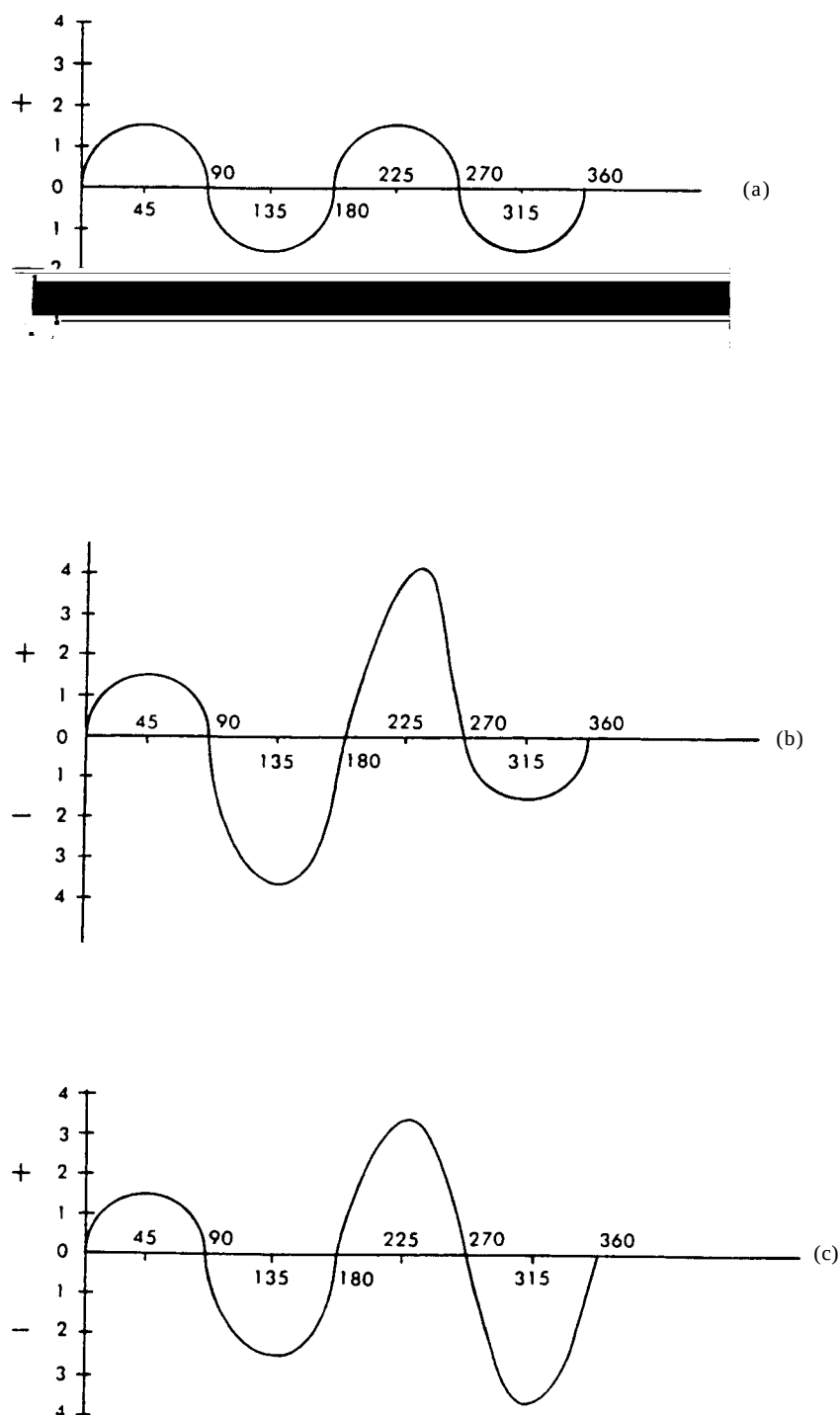
a. CURVAS DE DESVIOS

Os desvios do radiogoniômetro são quadrantis, com valores máximos nas marcações relativas próximas aos 045°, 135°, 225° e 315° e com valores nulos nas marcações relativas próximas a 000°, 090°, 180° e 270°. No primeiro e terceiro quadrantes, os desvios devem ser positivos; no segundo e quarto quadrantes, devem ser negativos. A calibragem do radiogoniômetro deve ser repetida sempre que os desvios difiram desta lei geral.

A regularidade da curva de desvios depende da instalação do radiogoniômetro e da distribuição das massas metálicas a bordo. A figura 35.29a mostra uma curva de desvios perfeitamente regular; este é o caso de um radiogoniômetro instalado no plano longitudinal e no centro do navio, com as massas metálicas simetricamente distribuídas. A figura 35.29b corresponde a um radiogoniômetro instalado no plano longitudinal, mas fora do

eixo transversal do navio; este é o caso mais comum. A figura 35.29c refere-se a um radiogoniômetro instalado fora dos eixos longitudinal e transversal do navio, e com as massas metálicas distribuídas assimetricamente em relação à antena.

Figura 35.29 – Curvas de Desvios



Como norma geral, os radiogoniômetros de bordo devem ser calibrados anualmente ou de acordo com o grau de confiança inspirado ao navegante pelas observações da curva de desvios em uso.

b. OPERAÇÃO DE CALIBRAGEM

Existem dois métodos para efetuar a calibragem do radiogoniômetro: utilizar uma estação fixa e girar o navio, ou fundear o navio e utilizar uma embarcação-alvo provida de um transmissor.

O primeiro método é o normalmente utilizado e consiste em executar um giro completo do navio, numa distância conveniente do radiofarol, tomando marcações visuais e rádio, de 15° em 15°. Na nossa costa, isso pode ser feito com vários radiofaróis, entre os quais citam-se o RF Rasa (RJ) e o RF Moela (Santos).

Para se determinar o desvio do radiogoniômetro, usa-se a fórmula:

$$\text{Drg} = \text{Mrel} - \text{Mrg}$$

Onde: Drg = desvio do radiogoniômetro;
 Mrel = marcação relativa (visual); e
 Mrg = marcação radiogoniométrica.

A marcação relativa (Mrel) é tomada visualmente, com a ajuda de um taxímetro ou de uma repetida da giro.

O navio deve efetuar o giro numa distância em que a antena da estação que transmite seja bem visível (os radiofaróis geralmente ficam próximos a faróis e deve-se ter em mente que a marcação é da antena, e não do farol). Essa distância deve ser calculada de maneira que o erro de paralaxe seja mínimo. Uma distância de 1 milha é suficiente quando a antena e o taxímetro estão bem próximos (ambos no tijupá); pode ser aumentada para 2 milhas quando utilizando uma repetidora da asa do passadiço; de qualquer maneira, isso dependerá das posições relativas da antena e do taxímetro que será usado.

Também deverá ser providenciado meio de comunicação entre o operador que fará as marcações visuais (no taxímetro ou repetidora) e o que fará as marcações radiogoniométricas.

A calibragem deve ser efetuada sempre que o aparelho for reparado, ou que for feita alguma alteração da massa metálica ou do campo eletromagnético em suas redondezas. Além disso, uma nova calibragem deve ser feita sempre que se apresentar um erro constante nas marcações radiogoniométricas.

Para a faixa de frequências utilizadas pelos radiofaróis marítimos (283,5 a 330 kHz), basta uma única calibragem.

Também foi visto que o desvio do radiogoniômetro varia com a massa metálica do navio. Ora, essa massa metálica é função do calado. Portanto, no caso de navios mercantes, é necessário o levantamento de curvas de calibragem para vários calados (no mínimo três), sendo uma para condição de plena carga, outra para meia carga e outra para navegação em lastro. Isso é muito importante nos navios que têm grande variação de calado, como são os graneleiros, petroleiros, etc.

Os navios que carregam minério de ferro têm seu estado elétrico alterado em cada carregamento. Por isso, é muito provável que desvios diferentes dos constantes da curva de calibragem sejam observados após um novo carregamento de minério. Então, sempre que possível, o Comandante do navio deve efetuar uma calibragem do seu radiogoniômetro após cada carga e descarga do minério.

c. ROTINA PARA CALIBRAGEM

1. Estação fixa e navio em movimento:

1. Situar o navio numa posição distante da estação transmissora, na qual haja lazeira suficiente para a manobra e tal que a direção em que vai ser recebida a onda não esteja sujeita à refração terrestre. De preferência, deve o navio estar situado no setor de boas marcações da estação que vai transmitir;

2. certificar-se que o navio esteja em todas as suas condições de viagem, que todas as antenas existentes a bordo estejam nas condições normais de operação e que o radiogoniômetro esteja em boas condições de funcionamento;

3. testar as comunicações entre o passadiço e os operadores da repetidora (taxímetro) e do radiogoniômetro;

4. pedir à estação transmissora que transmita o sinal para calibragem;

5. efetuar com o navio, vagarosamente, um giro de 360°, fazendo, de 15° em 15°, de 0° a 360°, a marcação radiogoniométrica e, simultaneamente, a marcação visual da estação transmissora;

6. marcar, também, a estação transmissora aos 045°, 135°, 225° e 315° da proa, porque nestas marcações relativas o desvio tem o seu valor máximo;

7. calcular os desvios do radiogoniômetro pela fórmula:

$$Drg = Mrel - Mrg$$

na qual se considera **Mrel** a marcação relativa obtida por processos visuais, **Mrg** a marcação radiogoniométrica e **Drg** o desvio do radiogoniômetro;

8. reunir em uma tábua os desvios assim calculados, e, com eles, construir uma curva, utilizando, para as marcações intermediárias, um valor interpolado entre os dois mais próximos;

9. examinar a tábua e a curva obtidas, verificando as marcações em que ocorreram os valores máximos e nulos. O desvio é de natureza quadrantal, com máximos nas marcações próximas de 045°, 135°, 225° e 315° e com valores nulos nas marcações próximas de 000°, 090°, 180° e 270°; se forem encontrados valores que divirjam significativamente dessa lei de variação, a calibragem deve ser repetida. É de se notar, entretanto, que a curva pode apresentar formas menos regulares ou simétricas, se a massa metálica não estiver igualmente distribuída em relação ao radiogoniômetro; e

10. comunicar à estação transmissora o fim do serviço.

NOTAS:

1. Certificar-se que, durante a calibragem, as marcações visuais sejam realmente tomadas para a **antena de transmissão** do radiofarol (em geral, existe nas proximidades do radiofarol a estrutura de um farol, muito mais conspícua que a antena de transmissão, podendo confundir a tomada de marcações); e

2. é comum começar o giro aproando ao transmissor, pois ter-se-á, inicialmente, a marcação relativa 000°. Executa-se, então, o giro por bombordo, com as marcações relativas aumentando (015°, 030°, 045°, etc.).

II. Estação móvel e navio fundeado:

1. Generalidades: a calibragem é feita com o navio fundeado, enquanto uma embarcação especial, provida de um alvo-transmissor, circula em torno dele. O navio cujo aparelho vai ser calibrado fundeará de tal maneira que a embarcação possa circulá-lo num raio de 1.000 metros. Deve ser escolhido um local distante, no mínimo, de duas milhas da terra mais próxima e afastado de canalizações submarinas. Marcações visuais e rádio são tomadas simultaneamente do navio e anotadas pela equipe de calibragem; e

2. requisitos: pessoal treinado e suficiente para guarnecer o taxímetro ou repetidora, o radiogoniômetro, o transmissor do alvo e para as comunicações entre o alvo e o navio. A embarcação-alvo deve estar equipada de maneira a poder transmitir, em onda contínua, sinais entre 250 e 1.500 kHz, 100% polarizados verticalmente, com uma saída de, no mínimo, 50 watts. O radiogoniômetro em questão deve estar funcionando perfeitamente e compensado com antecedência. Deverá ser mantida comunicação permanente entre o navio e a embarcação-alvo e entre o observador do taxímetro (ou repetidora), o operador do radiogoniômetro e outros membros da equipe de calibragem. Além disso, todas as antenas do navio devem estar em condições normais de funcionamento no mar.

Depois que todas as verificações e ajustagens preliminares tiverem sido executadas e a equipe de calibragem escolhida e treinada, o navio segue para o local escolhido e fundeia. A embarcação-alvo, então, começa a circular, num raio nunca menor que 1.000 metros e numa velocidade tal que complete uma volta em 20 a 30 minutos. O operador da repetidora, ou taxímetro, deverá marcar o alvo ao cruzar a proa e depois nos múltiplos de 15°. Quando o alvo cruzar o retículo, o operador da repetidora, ou taxímetro, diz **“top”** pelo sistema de comunicações. Este é ouvido pelo operador do radiogoniômetro, que, imediatamente, faz as leituras da marcação. O operador da repetidora, então, desloca a alidade adiante de mais 15° e fica pronto a dizer **“top”**, quando o alvo cruzar novamente o retículo.

35.8 RADIOGONIOMETRIA EM VHF

Recentemente, em função da grande utilização da faixa de VHF nas comunicações marítimas, foram desenvolvidos equipamentos de radiogoniometria em VHF. Tais radiogoniômetros determinam, automaticamente, marcações de transmissões em VHF. Embora não tenham sido, ainda, construídos radiofaróis marítimos em VHF, tais equipamentos têm valor para a navegação, pois podem determinar marcações de estações terrestres de VHF, ou de outras embarcações transmitindo em VHF. São particularmente úteis para **“homing”** (aterragem) sobre uma estação de terra ou outra embarcação.

O aparelho de radiogoniometria em VHF, cuja antena é mostrada na figura 35.30, pode ser conectado a um receptor VHF ou pode ser embutido no próprio equipamento VHF. Uma vez que o canal desejado tiver sido selecionado, o resto da operação é automática, sendo a marcação da frequência de transmissão indicada em um mostrador, imediatamente.

35.9 RECOMENDAÇÕES FINAIS PARA O USO DO RADIOGONIÔMETRO

Resumindo o que foi exposto, recomenda-se aos navegantes que, ao determinarem marcações radiogoniométricas para fins de navegação, observem as seguintes instruções:

1. Ter o radiogoniômetro compensado e calibrado;
2. escolher estações que não estejam a distâncias muito grandes do navio (que estejam a menos de 30 milhas, durante a noite, e 200 milhas, durante o dia);
3. utilizar de preferência os radiofaróis marítimos, lembrando-se que, embora as estações costeiras possam servir para o mesmo fim, não se destinam especialmente à radiogoniometria e, como tal, suas características nem sempre são próprias a uma boa operação;
4. não utilizar estações cuja onda esteja sujeita à refração terrestre;
5. lembrar-se de que as marcações feitas durante a noite e, principalmente, por ocasião dos crepúsculos, matutino e vespertino, estão sujeitas ao efeito noturno. Por isso, tais marcações nunca devem ser feitas uma só vez; deve o navegante efetuar uma série de marcações num curto período e tomar a média dos resultados obtidos;
6. certificar-se de que todas as antenas a bordo, e bem assim todas as partes metálicas móveis da superestrutura, estejam nas mesmas condições em que se achavam quando foi efetuada a calibragem; e
7. ter em mente que a curva de desvios só deve ser empregada para uma faixa de frequências que difiram, no máximo, de 200 kHz em relação à frequência para a qual foi feita a calibragem do radiogoniômetro.

Figura 35.30 – Radiogoniômetro em VHF



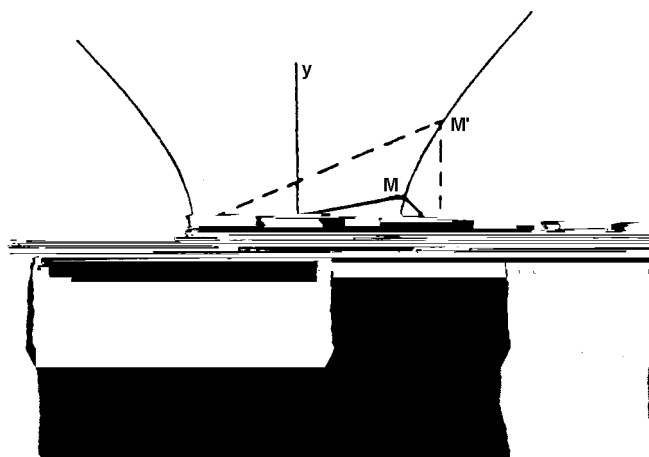
36

SISTEMAS HIPERBÓLICOS DE NAVEGAÇÃO

36.1 NAVEGAÇÃO HIPERBÓLICA

A **navegação hiperbólica** utiliza o método de medida da diferença de distâncias a determinados pontos (estações do sistema) para obtenção das **linhas de posição (LDP)** que definem a posição do navio. Os sistemas eletrônicos de posicionamento baseados em terra (**“land based positioning systems”**) que estudaremos a seguir utilizam o **método hiperbólico** para determinação das LDP, por diferença de fase, como o sistema Decca, ou por diferença de tempo, como o LORAN-C.

Figura 36.1 – Hipérbole



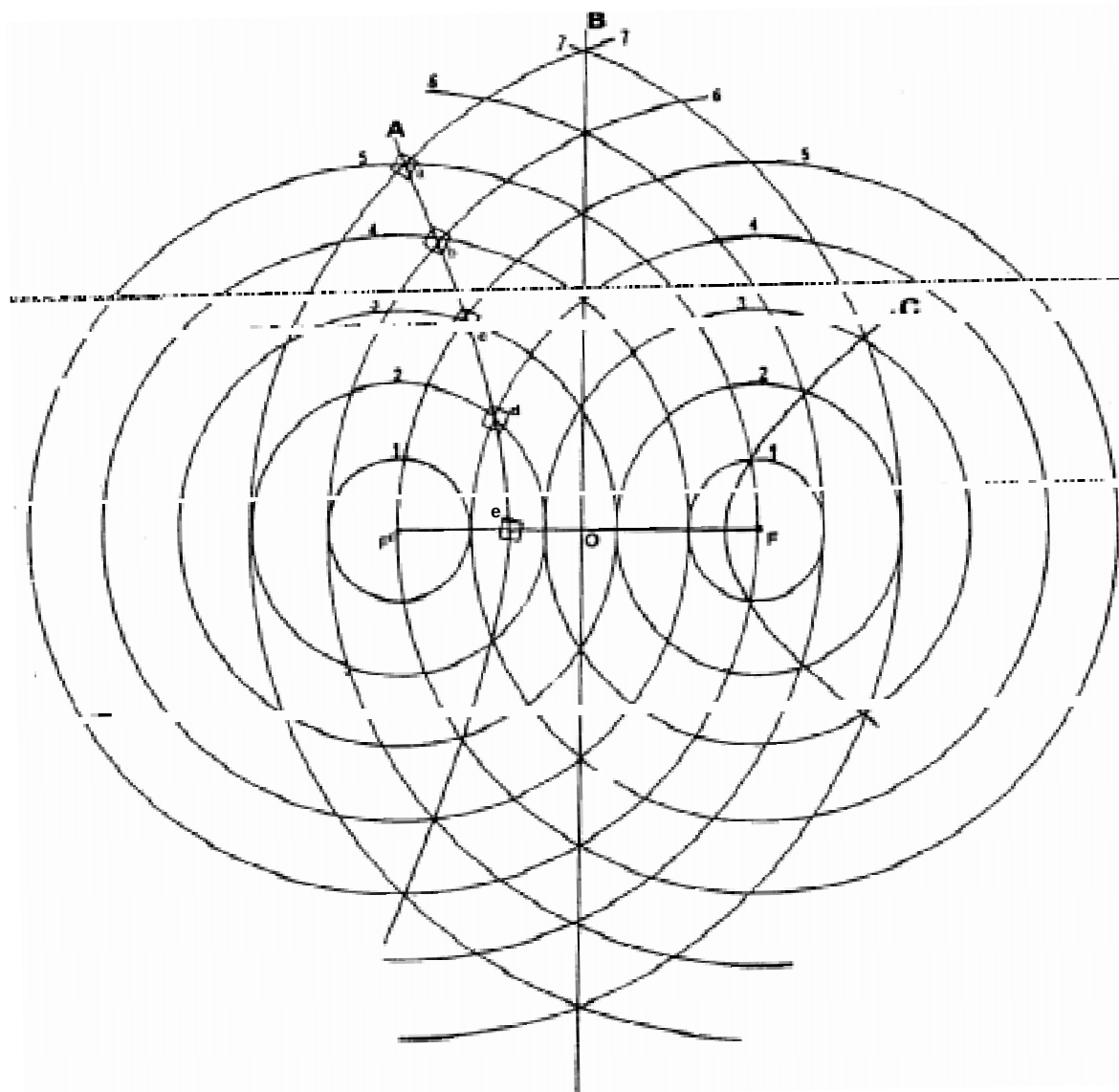
Uma **hipérbole** é o lugar geométrico dos pontos cuja diferença de distâncias a dois pontos fixos é constante. A figura 36.1 mostra uma **hipérbole** cujos **focos** são **F** e **F'**. Em cada ponto dos dois ramos da **hipérbole**, as diferenças das distâncias aos focos é constante. Assim, na figura 36.1:

$$MF - MF' = M'F - M'F' = \text{constante}$$

A distância entre os **focos** da hipérbole é denominada **distância focal**; o segmento que une os focos **F** e **F'** é denominado, em navegação, de **linha base**; a extensão da linha focal toma o nome de **prolongamento da linha base**; a perpendicular a meio da distância focal (yy') é denominada de **mediatriz** do segmento focal.

O modo mais prático de construção geométrica de uma hipérbole consiste em, plotados os focos, traçar, em escala, circunferências com centros nos focos, cujos raios aumentem gradualmente, em uma proporção constante (figura 36.2). As circunferências, então, indicam as distâncias aos focos. Para o traçado da hipérbole, escolhem-se os pontos de interseção de duas circunferências cujos raios difiram entre si do valor constante desejado.

Figura 36.2 – Construção Geométrica de uma Hipérbole



Para o traçado do ramo da hipérbole **A** da figura 36.2, escolhemos uma diferença constante de distâncias aos focos igual a 2 unidades. Assim, no ponto **a**, a distância ao foco **F** é igual a 7 unidades e a distância ao foco **F'** igual a 5, sendo, portanto, a diferença das distâncias igual a 2; no ponto **b**, a distância a **F** é de 6 unidades e a distância a **F'** é de 4 unidades, o que significa uma diferença de distâncias também igual a 2; o mesmo ocorre nos pontos **c**, **d** e nos demais pontos da hipérbole **A**; em todos eles, a diferença das distâncias aos focos é de 2 unidades, como mostrado na tabela a seguir:

PONTO	VALORES DOS RAIOS		DIFERENÇA
	Circunferência com centro em F	Circunferência com centro em F'	
a	7	5	2
b	6	4	2
c	5	3	2
d	4	2	2

A hipérbole **C**, também traçada na figura 36.2, corresponde a uma diferença de distâncias constante, igual a **4** unidades.

Analisando essa figura, conclui-se que, quando a diferença constante das distâncias é pequena, a hipérbole se localiza próximo à mediatriz e é bastante aberta; ao contrário, quando a diferença constante das distâncias cresce, os ramos da hipérbole se aproximam dos focos e a curvatura aumenta (como mostrado na hipérbole **C** da figura 36.2); a mediatriz corresponde a uma diferença de distâncias constante igual a zero.

A compreensão do traçado e das propriedades de uma hipérbole auxiliam o entendimento dos princípios em que se baseia a **navegação hiperbólica**.

36.2 CONSTRUÇÃO DE UM PADRÃO HIPERBÓLICO. AMBIGÜIDADE DAS TRANSMISSÕES SIMULTÂNEAS

Seja a figura 36.3, onde nos focos da hipérbole estão situados dois transmissores, **A** e **B**, que, de forma sincronizada, emitem ao mesmo tempo um sinal rádio. Ao emitirem, as ondas se propagam em todas as direções e as circunferências traçadas na figura indicam as distâncias alcançadas em intervalos de 100 microssegundos (100 ms).

Como vimos, a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas na atmosfera é de, aproximadamente, 300.000 km/s, ou cerca de 162.000 milhas náuticas por segundo. Assim, a onda hertziana percorre 0,162 milha náutica por microssegundo, ou 16,2 milhas em 100 ms. Isto significa que, na figura 36.3, o intervalo de 100 ms entre as circunferências traçadas corresponde a 16,2 milhas náuticas.

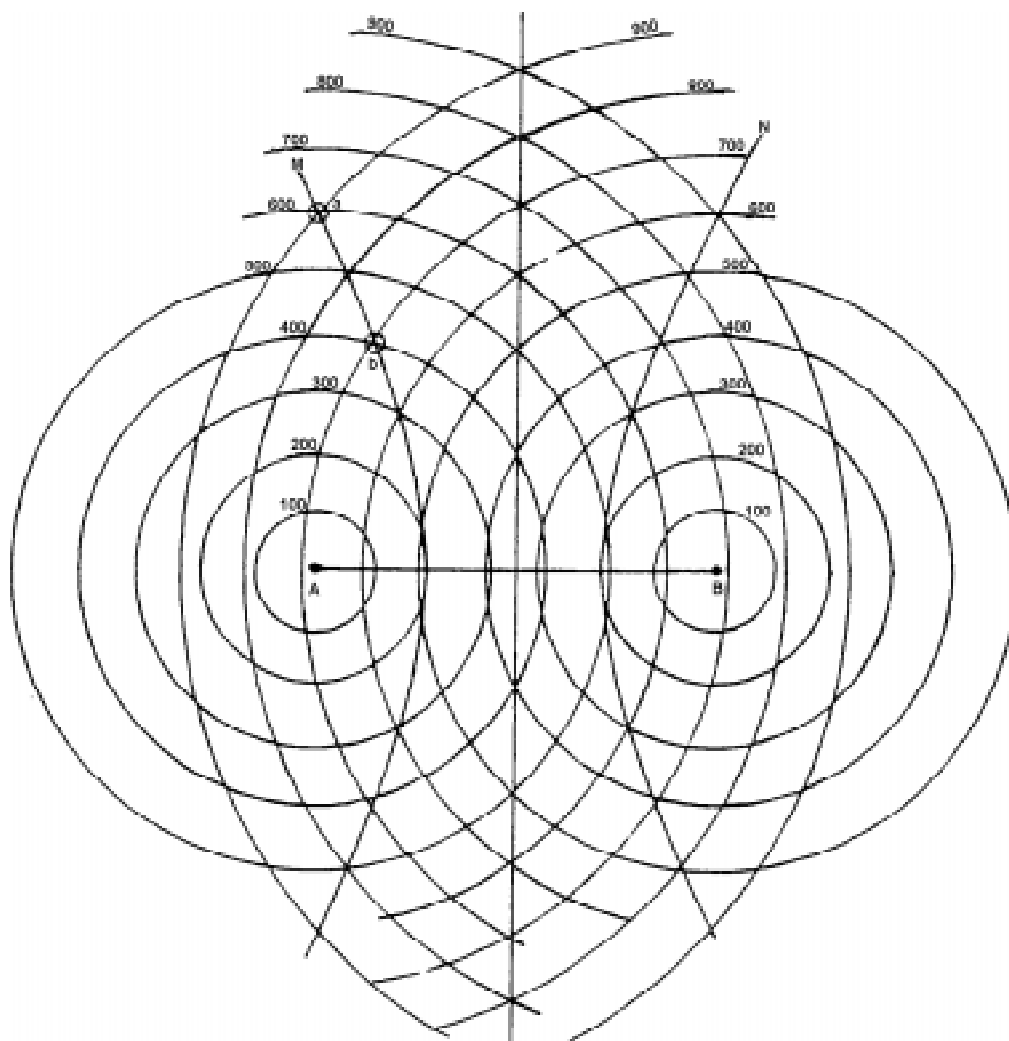
Então, como a velocidade de propagação das ondas de rádio no ar é aproximadamente constante, a uma distância percorrida pelo sinal transmitido corresponderá um certo intervalo de tempo, e vice-versa. Além disso, uma diferença de distâncias corresponderá a um determinado intervalo de tempo.

Tendo em vista este conceito e recordando as propriedades de uma hipérbole, podemos definir como **hipérbole de posição**, em radionavegação:

HIPÉRBOLE DE POSIÇÃO

É o lugar geométrico das posições do observador onde o intervalo de tempo entre a recepção de sinais rádio transmitidos simultaneamente por duas estações fixas é constante.

Figura 36.3 – Construção de um Padrão Hiperbólico



Na figura 36.3, na hipérbole **M**, considerem-se os pontos **a** e **b**. O sinal rádio, para se propagar do transmissor **A** ao ponto **a**, gasta 600 ms; por outro lado, o sinal rádio gasta 900 ms para se propagar do transmissor **B** ao mesmo ponto **a**. Assim, se os dois sinais fossem emitidos simultaneamente, um receptor no ponto **a** receberia o sinal do transmissor **A** 300 ms antes de receber o sinal do transmissor **B**.

No ponto **b** da hipérbole **M**, teríamos:

– do transmissor A para o receptor b , o sinal gasta	400 ms
– do transmissor B para o receptor b , o sinal gasta	700 ms
diferença de tempo	300 ms

Portanto, obteremos diferenças de tempo constantes para todos os pontos da hipérbole **M**. Assim, se a bordo existir um radioreceptor com um dispositivo capaz de medir o intervalo de tempo entre a recepção dos sinais emitidos simultaneamente por **A** e **B**, poderemos determinar a **hipérbole de posição** do navio.

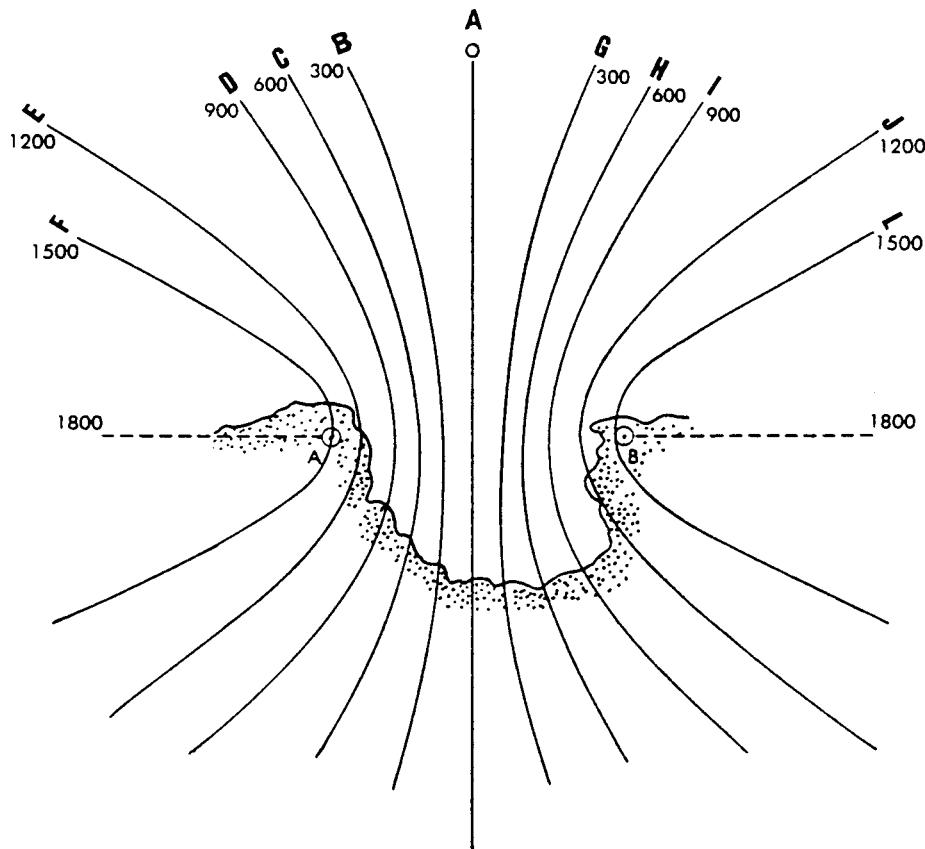
Contudo, uma hipérbole é composta por dois ramos simétricos e a ambos corresponderá a mesma diferença de distâncias, ou o mesmo intervalo de tempo. Na figura 36.3, os ramos hiperbólicos **M** e **N** correspondem a uma diferença de tempo de 300 microssegundos.

Como o receptor é capaz apenas de medir o intervalo de tempo entre a recepção dos dois sinais, ficaria introduzida uma ambigüidade no sistema, não havendo meio de distinguir se o navio se encontra sobre o ramo hiperbólico **M** ou **N**.

A figura 36.4 ilustra outra situação, onde, além da mediatriz **A**, estão traçadas cinco hipérboles, cada uma com seus dois ramos simétricos. Temos, então, as seguintes diferenças de tempo correspondentes:

- ramos hiperbólicos **B** e **G** 300 ms
- ramos hiperbólicos **C** e **H** 600 ms
- ramos hiperbólicos **D** e **I** 900 ms
- ramos hiperbólicos **E** e **J** 1.200 ms
- ramos hiperbólicos **F** e **L** 1.500 ms

Figura 36.4 – Padrão Hiperbólico Mostrando Ambigüidades



Desta forma, quando as transmissões são simultâneas, existem ambigüidades. Para resolver as ambigüidades descritas, a maioria dos sistemas hiperbólicos de navegação usa o processo de escalonamento das emissões, agrupando as transmissões em redes de três ou quatro estações. Em uma rede, uma estação transmite primeiro e as demais só emitem os respectivos sinais ao receberem a onda de rádio emitida pela primeira estação. Vejamos como isto elimina a ambigüidade.

Na figura 36.5, as circunferências de distância/tempo traçadas estão espaçadas de 100 ms. Verifica-se, portanto, que as estações representadas estão espaçadas de 400 ms,

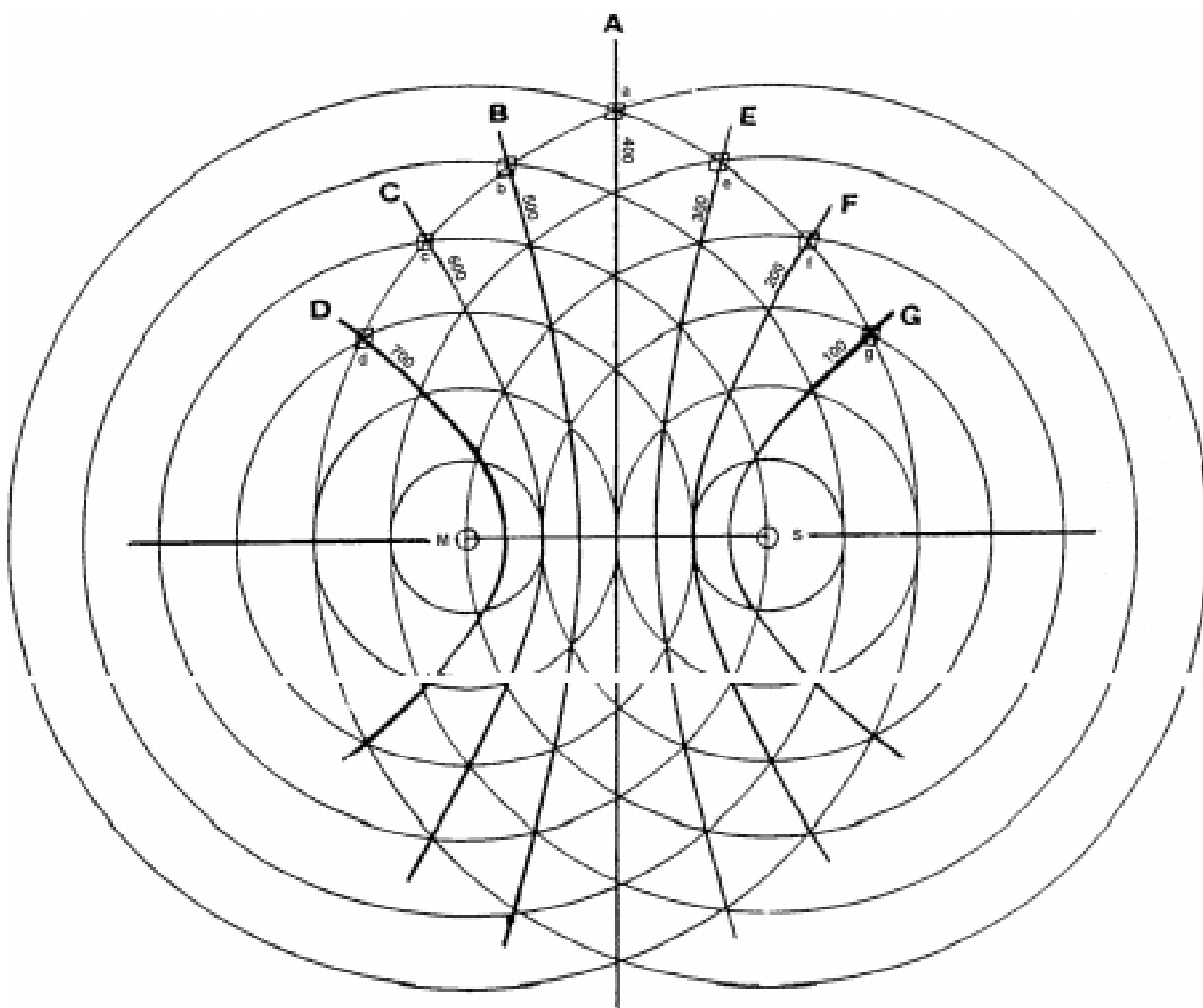
ou seja, o sinal rádio transmitido por uma delas gasta 400 ms para se propagar até a outra. Inicialmente, uma das estações, denominada de **Mestra (M)**, emite seu sinal. Só quando ele for recebido na outra estação, que se denomina **Escrava, Remota** ou **Secundária (S)**, é que esta emitirá o respectivo sinal. Então, no exemplo da figura, a estação **S** só transmitirá o seu sinal 400 ms depois da emissão do sinal da estação **M**, isto é, haverá um atraso de 400 ms na transmissão da estação **S**. Logo, para um ponto **d**, no ramo hiperbólico **D** (figura 36.5), tem-se:

- o sinal de **M** gasta para alcançar **d** 300 ms
 - o sinal de **S** gasta para alcançar **d** 600 ms
 - atraso na transmissão do sinal de **S** 400 ms
-
- diferença de tempo 700 ms

Da mesma forma, para um ponto **c**, no ramo hiperbólico **C**, tem-se:

- o sinal de **M** gasta para alcançar **c** 400 ms
 - o sinal de **S** gasta para alcançar **c** 600 ms
 - atraso na transmissão do sinal de **S** 400 ms
-
- diferença de tempo 600 ms

Figura 36.5 – Padrão Hiperbólico com Escalonamento das Transmissões



Raciocínios semelhantes nos permitiriam montar a seguinte tabela de diferenças de tempo:

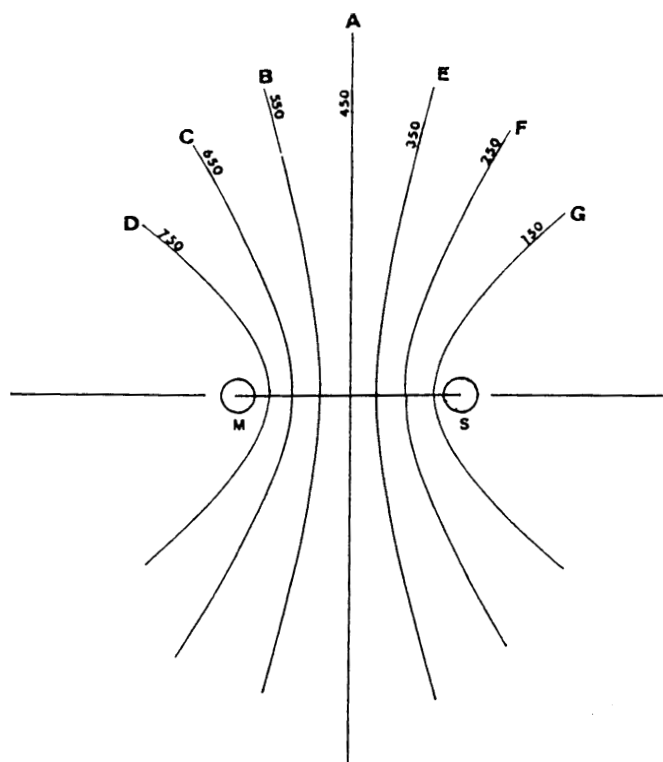
HIPÉRBOLE DE POSIÇÃO	DIFERENÇA DE TEMPO
D	700 ms
C	600 ms
B	500 ms
A	400 ms
E	300 ms
F	200 ms
G	100 ms

Assim, está eliminada a ambigüidade, pois ramos hiperbólicos simétricos corresponderão a intervalos de tempo diferentes. Por exemplo, os ramos simétricos **D** e **G** correspondem, respectivamente, a intervalos de tempo de 700 ms e 100 ms.

Na prática, como o transmissor da estação **Escrava**, ou **Secundária (S)**, leva algum tempo para ser disparado após receber o sinal da **Mestra (M)**, além de não ser aconselhável trabalhar com intervalos de tempo muito pequenos, é somado ao tempo que o sinal **M** gasta para alcançar **S** um intervalo de tempo fixo, denominado **atraso de código**.

Se, por exemplo, este **atraso de código** for 50 microssegundos, somado ao tempo gasto para o sinal de **M** alcançar **S** (400 ms) resultará em um atraso total de 450 ms. Então, as leituras nas hipérboles de posição ficariam conforme apresentado na figura 36.6.

Figura 36.6 – Padrão Hiperbólico com Escalonamento e Atraso de Código



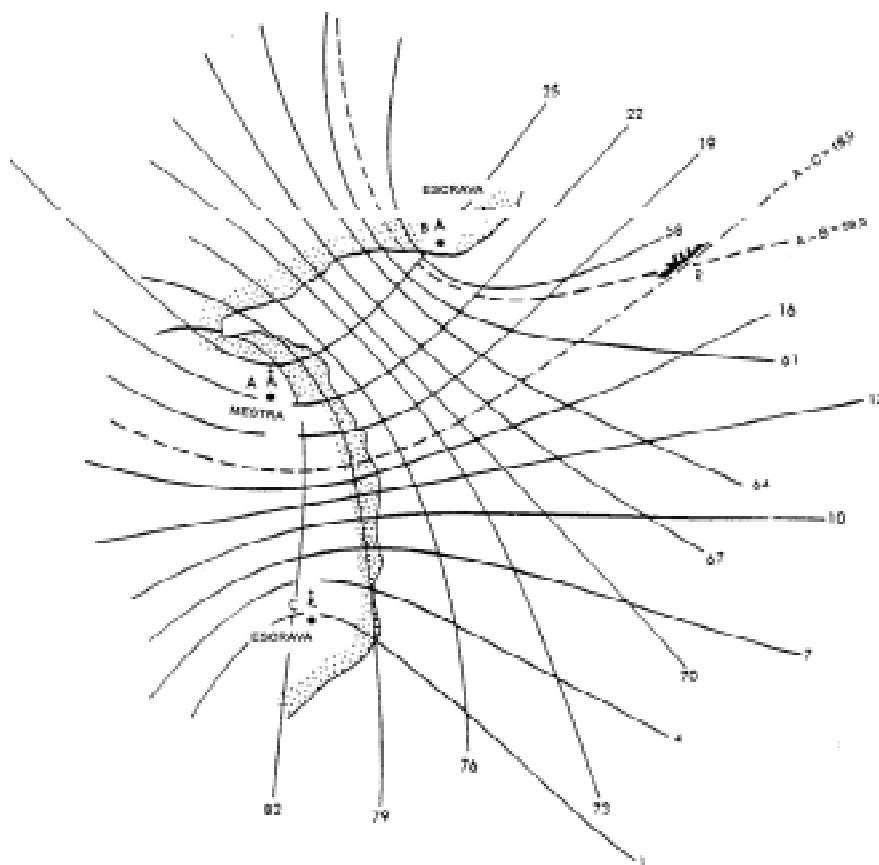
Conforme vimos, na **navegação hiperbólica** a linha que une duas estações (MS) é denominada de **linha base**; suas extensões para ambos os lados das estações tomam o nome de **prolongamento da linha base**. O espaçamento entre duas hipérboles traçadas no padrão chama-se **corredor** (“lane”).

36.3 SISTEMAS HIPERBÓLICOS DE NAVEGAÇÃO

Para se obter um ponto é necessário que sejam determinadas duas linhas de posição (LDP) hiperbólicas. A posição do navio estará no cruzamento das duas LDP. É preciso, portanto, dois grupos de estações. Na prática, usa-se uma estação Mestra controlando duas Secundárias ou Escravas. Para que se observem as diferenças de tempo entre as recepções dos sinais dos dois grupos, variam-se as **frequências** ou os **atrasos de código**.

Na figura 36.7, está plotado o padrão hiperbólico de uma rede constituída por três estações: a **Mestra A** e duas **Escravas**, ou **Secundárias**, **B** e **C**. As duas famílias de LDP hiperbólicas **A – B** e **A – C** constituem o **quadriculado hiperbólico** traçado na carta. No exemplo indicado na figura, o receptor do sistema de navegação hiperbólica determinou duas diferenças de tempo de recepção de sinais: $A - B = 59,5 \text{ ms}$ e $A - C = 18,0 \text{ ms}$. Como as hipérboles correspondentes a estes valores não estão traçadas na carta, foram feitas as interpolações correspondentes, representadas por linhas tracejadas. O cruzamento das duas LDP hiperbólicas fornece a posição do navio, como mostrado na figura.

Figura 36.7 – Quadriculado Hiperbólico de uma Rede de Três Estações: Uma Mestra (A) Comandando Duas Escravas (B e C)



Um sistema hiperbólico de navegação pode usar a medida do intervalo de tempo de recepção de sinais, conforme acima descrito, ou a comparação da fase de sinais de onda contínua transmitidos pelas estações de terra. Os sistemas para navegação marítima que estudaremos empregam ambos os métodos: o LORAN-C utiliza a medida do intervalo de tempo; o sistema Decca se baseia na medida da diferença de fase para determinação das LDP.

36.4 PRECISÃO DE UMA LDP HIPERBÓLICA

A precisão de uma linha de posição (LDP) hiperbólica dependerá dos seguintes fatores:

- (1) Exatidão com que é medido o intervalo de tempo ou a diferença de fase dos sinais recebidos;
- (2) sincronia entre as estações transmissoras;
- (3) precisão nas previsões de propagação das ondas de rádio;
- (4) qualidade do receptor e experiência do operador;
- (5) posição relativa entre o navio e as estações transmissoras (geometria da posição); e
- (6) precisão da tábuca ou carta usada (incluindo a precisão das posições das estações do sistema).

Vejamos um sumário da influência de cada um desses fatores:

(1) A exatidão com que o equipamento é capaz de medir o intervalo de tempo, ou a diferença de fase, entre os sinais recebidos é fundamental para a precisão da LDP. Como vimos, a velocidade de propagação das ondas de rádio na atmosfera é de cerca de 0,162 milha náutica por microssegundo. Assim, para que a LDP tenha uma precisão de 0,1 milha, a medição do intervalo de tempo deve ser feita com uma exatidão de 0,6 ms, ou seja, para cada 0,6 ms de erro na leitura, teremos um erro de 0,1 milha na LDP. A medição da diferença de fase deve ser feita com precisão semelhante.

(2) A sincronia entre as transmissões também é essencial. As estações devem transmitir rigorosamente dentro do escalonamento de emissões planejado para o sistema, a fim de garantir a exatidão das LDP. A sincronização das transmissões é assegurada por padrões atômicos de tempo, altamente precisos.

(3) A previsão da propagação significa tanto a velocidade como o trajeto das ondas de rádio entre a estação transmissora, em terra, e o receptor, a bordo do navio ou embarcação. No traçado das hipérboles nas cartas, ou na construção de tábuas, assumem-se condições atmosféricas padrões, que proporcionarão uma propagação padrão. Se as condições se afastam dos parâmetros padrões considerados, serão introduzidos erros nas LDP. Cada sistema usa seu método próprio para identificar e corrigir esses erros.

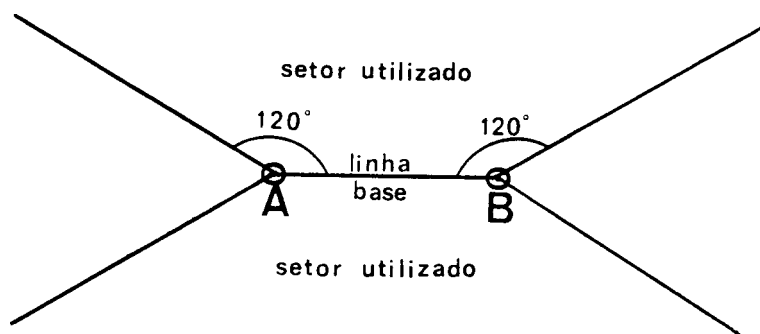
(4) As qualidades do receptor são sua sensibilidade, sua seletividade e o seu nível de ruído, que deve ser o mais baixo possível, para que se possam tomar as leituras com exatidão. Os receptores de navegação hiperbólica atendem, em sua maioria, a esses requisitos. Quanto à experiência do operador, refere-se à sua capacidade de fazer leituras precisas.

Muitos equipamentos de navegação hiperbólica dispõem atualmente de receptores que executam leitura automática e apresentação da LDP em forma digital, eliminando a necessidade de maior experiência de operação. Outros, ainda, utilizam um microcomputador incorporado, fornecendo automaticamente a posição do navio, em Latitude e Longitude.

(5) A precisão de uma LDP hiperbólica depende, também, da posição do navio (receptor) em relação às estações transmissoras, ou seja, depende da posição do receptor dentro do padrão hiperbólico. A precisão é tanto maior quanto menor for a largura do **corredor** (espaçamento entre duas hipérboles consecutivas traçadas na carta). Para qualquer padrão hiperbólico, os corredores se estreitam mais sobre a **linha base**; portanto, é sobre ela que se dá o máximo de precisão. No prolongamento da linha base e nas suas vizinhanças, por outro lado, é que se situam as áreas de menor precisão, de modo que, geralmente, estas regiões do padrão hiperbólico são evitadas. Na prática, são utilizados apenas 2 setores do padrão, com 120° cada um, para cada lado da linha base, como indicado na figura 36.8. Na determinação da posição são empregadas, pelo menos, duas LDP. Assim, a precisão do ponto dependerá, além dos fatores que influenciam a exatidão das LDP de per si, do ângulo de corte entre as hipérboles, isto é, da geometria da situação. Para uma posição obtida por duas LDP, ângulos de interseção menores que 30° devem ser evitados, tal como na navegação costeira ou astronômica.

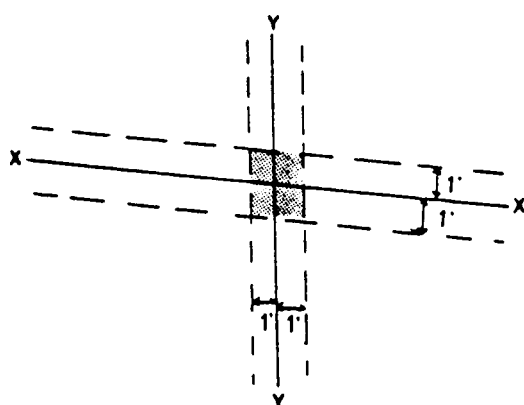
(6) A precisão também depende da acurácia com que se conhecem as coordenadas das estações transmissoras e da exatidão das tábuas ou cartas usadas com o sistema.

Figura 36.8 – Setores Utilizáveis do Padrão Hiperbólico

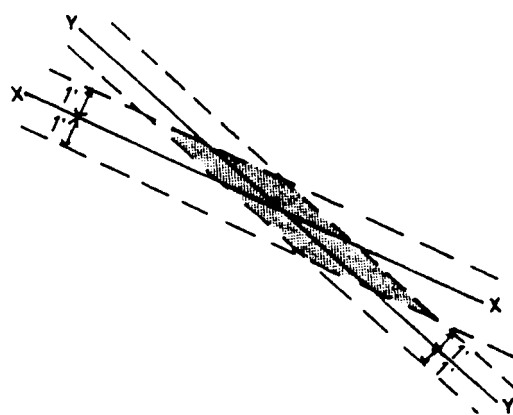


Em virtude de todos esses fatores, é prudente considerar para a posição hiperbólica, não apenas um ponto, mas sim uma área em torno da interseção das duas hipérboles de posição. Tal área será função da precisão considerada na obtenção da LDP e do ângulo de corte entre elas (figura 36.9). Adota-se como posição o

Figura 36.9 – Posição Hiperbólica (Área de Incerteza)



(a) ERRO DE 1' EM CADA LDP
ÂNGULO DE CORTE @ 90°
(NAVIO PRÓXIMO ÀS ESTAÇÕES)



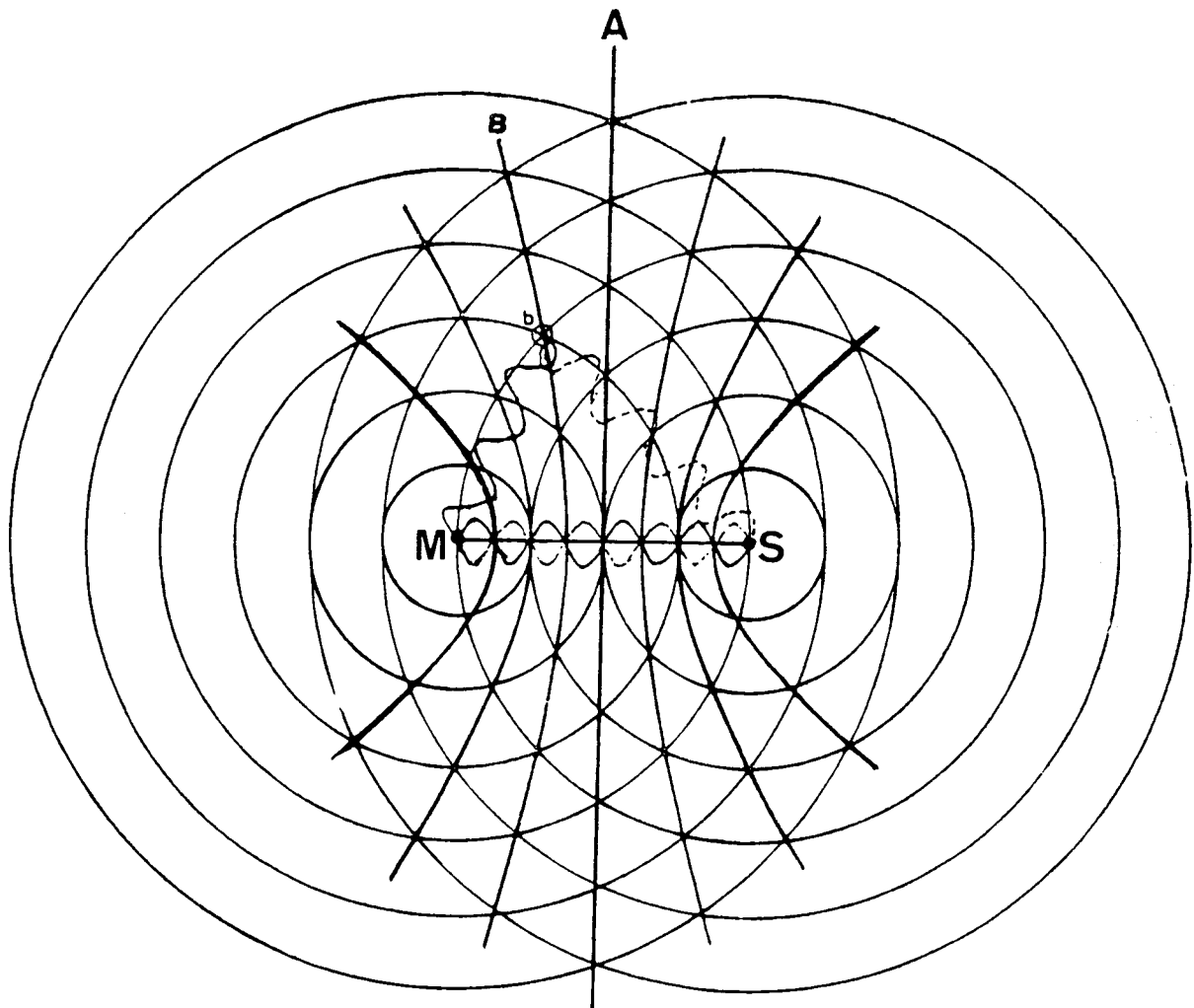
(b) ERRO DE 1' EM CADA LDP
ÂNGULO DE CORTE @ 30°
(NAVIO DISTANTE DAS ESTAÇÕES)

vértice mais desfavorável do quadrilátero formado, ou seja, o que coloque o navio em pior situação do ponto de vista da segurança da navegação.

36.5 PADRÃO HIPERBÓLICO PELA MEDIDA DA DIFERENÇA DE FASES

A figura 36.10 representa um padrão hiperbólico referente às estações **M** e **S**. Nele, o espaçamento entre as circunferências de distância traçadas é igual a 1 comprimento de onda (λ) das transmissões das estações. Além disso, para facilitar o estudo, considera-se que a **linha base** corresponde a um número inteiro de comprimentos de onda, que as duas estações operam na mesma frequência e transmitem sincronizadamente.

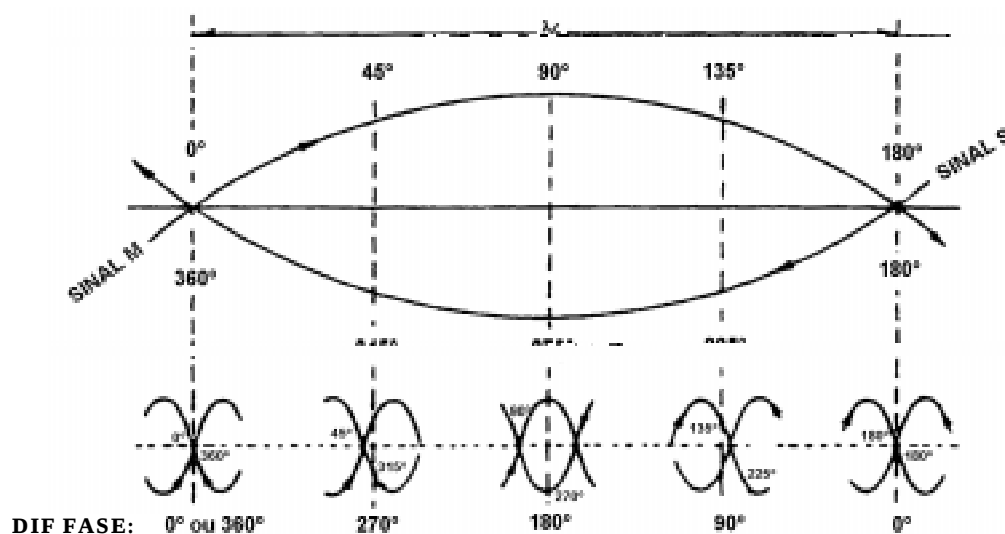
Figura 36.10 – Padrão Formado por Hiperbóles de Diferença de Fase Igual a Zero



Verifica-se na figura que, sobre a **linha base**, os pontos de diferença de fase igual a zero ocorrem a intervalos de meio comprimento de onda. Nos pontos fora da linha base que distam de ambas as estações números inteiros de comprimento de onda, ou números inteiros mais meio comprimento de onda, também a diferença de fase será zero. Assim, no ponto **b** da figura 36.10, cuja distância da estação **M** é de 3 comprimentos de onda e da estação **S** é de 4 comprimentos de onda, a diferença de fase é zero.

Nos sistemas que empregam diferença de fase, o espaçamento entre duas hipérboles de diferença de fase igual a zero denomina-se **corredor** ("lane"). Sobre a **linha base**, um **corredor** corresponde a meio comprimento de onda. À medida que se afasta da linha base, este valor aumenta, como se pode verificar na figura 36.10. As diferenças de fase dentro de um **corredor** podem ser visualizadas na figura 36.11. Desta forma, se o sistema de navegação for capaz de medir a diferença de fase entre os dois sinais, ficará definida uma LDP dentro do corredor em que estiver o navio.

Figura 36.11 – Diferenças de Fase Dentro de um Corredor



Para que se possa determinar a **diferença de fase**, os sinais têm que ser recebidos separadamente, a fim de que sejam medidas as fases e obtida a diferença. Isto pode ser feito de duas maneiras: ou as estações operam na mesma frequência, mas emitem em seqüência, ou operam em frequências diferentes, sendo uma múltipla da outra. O sistema Decca, que usa o método de medida da diferença de fases, emprega transmissões em frequências diferentes. O sistema Omega utilizava uma mesma frequência, em transmissões escalonadas.

Para dar uma idéia da precisão das LDP obtidas por medida da **diferença de fase**, tomemos como exemplo o sistema Omega, que operava na frequência básica de 10,2 kHz.

Logo, como $\lambda = \frac{C}{f}$, teremos:

$$\lambda = \frac{300.000}{10,2} = 29.411,764 \text{ metros}$$

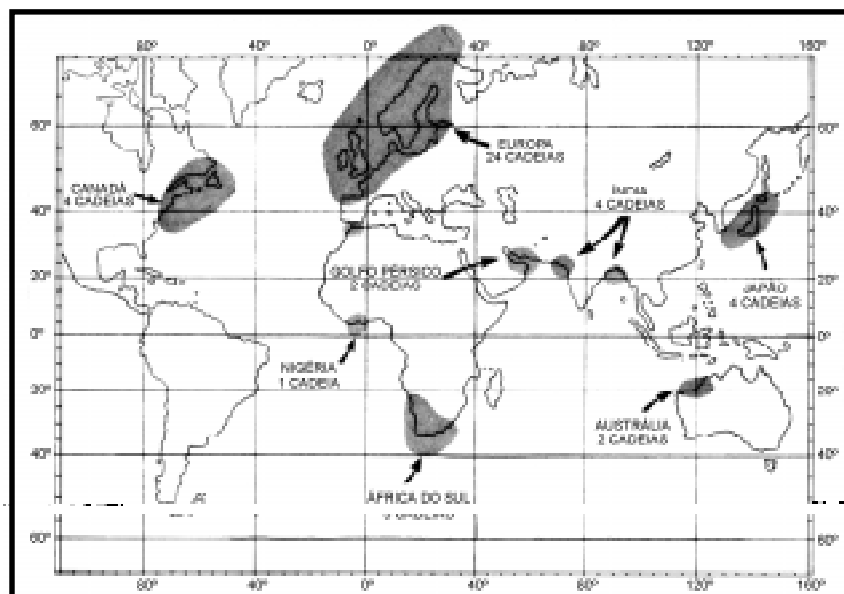
Assim, sobre a **linha base**, os corredores apresentam um comprimento de 14.705,882 metros, correspondente a meio comprimento de onda ($\lambda/2$). Se o equipamento Omega possuísse uma precisão de medida de diferença de fase de 4°, a exatidão na medida, sobre a **linha base**, seria de 163,40 metros. Essa precisão diminuiria ao se afastar da **linha base**, em virtude do aumento do espaçamento correspondente a um **corredor**.

36.6 SISTEMA DECCA DE NAVEGAÇÃO

O Sistema Decca de Navegação tem como característica única o fato de ter sido de propriedade e operado, até o final da década de 1980, por uma empresa privada, a “Racal-Decca Navigator Company Limited”, baseada em Londres, UK. O sistema foi originalmente concebido, em 1937, por um engenheiro norte-americano, W. J. O'Brien, tendo sido desenvolvido pelo Almirantado Britânico. Seu primeiro uso prático foi na navegação dos navios varredores e navios de desembarque na invasão aliada da Normandia, em 1944, na 2ª Guerra Mundial. A Companhia “Decca Navigator”, criada em 1945, aperfeiçoou o sistema e estabeleceu a primeira rede comercial Decca no sudeste da Inglaterra, em 1946. A cobertura atual do sistema Decca, na Europa, Canadá, Golfo da Guiné, sul da África, Golfo Pérsico, Índia, Austrália e Extremo Oriente, está mostrada na figura 36.12.

O sistema Decca utiliza o princípio da medida de **diferença de fase** entre sinais recebidos, para determinação das LDP. O sistema emprega redes (cadeias) de estações, cada uma formada por uma estação Mestra em combinação com até três Escravas, ou Secundárias. O sistema Decca usa ondas contínuas não moduladas (CW). A grade hiperbólica é formada pelas linhas de diferença de fase dos sinais transmitidos pela Mestra e pelas Escravas.

Figura 36.12 – Cobertura do Sistema DECCA (46 Cadeias)



Todas as estações Decca operam em baixas frequências, na faixa de LF (“low frequency”), entre 70 kHz e 130 kHz. O alcance nominal do sistema é considerado como de 240 milhas da estação Mestra, tanto durante o dia como no período noturno. A interferência das ondas celestes normalmente torna o sistema não utilizável além deste limite. Em condições excepcionais, o sistema pode ser usado até cerca de 450 milhas das estações. Assim, o Decca pode ser descrito como um sistema de navegação eletrônico de curto e médio alcance (em comparação, por exemplo, com o sistema de longo alcance GPS, que proporciona cobertura mundial). Enquanto o alcance do sistema Decca é algo limitado, esta desvantagem é compensada pela boa precisão e relativa simplicidade de obtenção das LDP Decca dentro da área de cobertura de cada cadeia.

O **erro médio quadrático (rms)** máximo de uma LDP Decca dentro da área coberta por uma cadeia do sistema é dado na tabela abaixo

DISTÂNCIA EM MILHAS DA ESTAÇÃO MESTRA	ERRO MÉDIO DA LDP EM METROS	
	DE DIA	DE NOITE
100	30	100
150	60	350
200	100	700
240	150	1.200

Em condições favoráveis, o erro nas posições Decca pode ser inferior a 50 metros, até 50 milhas das estações.

Em zonas restritas, próximo do centro da cadeia, o rigor pode ser da ordem de ± 15 metros.

Das 50 para as 240 milhas, o rigor das posições obtidas diminui substancialmente, sendo, no limite exterior, da ordem de ± 2 milhas.

Entre as 240 e as 450 milhas só é, normalmente, utilizável uma linha de posição.

36.7 PRINCÍPIO BÁSICO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DECCA

As estações transmissoras Decca estão agrupadas em cadeias constituídas por uma estação Mestra, à qual estão associadas duas ou três estações Escravas (Secundárias), situadas a distâncias de 60 a 120 milhas. Idealmente, cada cadeia deveria estar geograficamente distribuída de acordo com o “padrão estrela” (“star pattern”), ou seja, as estações Secundárias deveriam dispor-se em torno da Mestra com um espaçamento angular da ordem de 120° entre cada linha base Mestra–Escrava; contudo, as condições geográficas ou a cobertura pretendida fazem variar consideravelmente a posição relativa das estações. As estações Secundárias tomam as designações de Vermelha (Encarnada), Verde e Púrpura (Violeta).

As hipérboles Decca são impressas sobre cartas de navegação (Cartas Decca), na mesma cor da estação Secundária que constitui o par com a Mestra, isto é, vermelhas (encarnadas), verdes e púrpuras. O espaço compreendido entre duas hipérboles consecutivas de diferença de fase nula é denominado **corredor** (figura 36.13).

A cada cadeia Decca é atribuída uma **freqüência fundamental (f)**, de valor compreendido entre 14,00 kHz e 14,33 kHz, que é um submúltiplo inteiro das freqüências realmente irradiadas pelas estações; esses harmônicos são usados para simplificar o processo de comparação de fase pelo qual são obtidas as LDP Decca. Numa cadeia Decca, a relação harmônica entre a freqüência fundamental (**f**) e a freqüência de trabalho das estações é a seguinte: a Mestra transmite na freqüência **6f**; a Escrava Vermelha (Encarnada) na freqüência **8f**; a Escrava Verde na freqüência **9f**; e a Púrpura na freqüência **5f**.

O receptor Decca consiste, na realidade, de quatro receptores separados, cada um dos quais pode ser sintonizado para receber uma das quatro estações que constituem uma

cadeia, pela simples seleção da frequência fundamental (**f**) correspondente a essa cadeia. No receptor, os sinais para cada par Mestra/Escrava são eletronicamente multiplicados até uma única frequência de comparação de fase. Assim, a frequência **6f** da Mestra é multiplicada por **4** e a frequência **8f** da Vermelha (Encarnada) por **3**, para obter uma frequência comum de comparação de fase para o par Mestra/Vermelha de **24f**; ao mesmo tempo, a frequência **6f** da Mestra é, também, em outra parte do receptor, multiplicada por **3** e a frequência **9f** da Verde por **2**, para produzir uma frequência de comparação de fase do par Mestra/Verde de **18f**; simultaneamente, de maneira similar, a frequência **6f** da Mestra é multiplicada por **5** e a frequência **5f** da escrava Púrpura é multiplicada por **6**, de modo a produzir uma frequência de comparação de fase do par Mestra/Púrpura igual a **30f**. As **diferenças de fase** resultantes da comparação para cada par de estações Mestra/Escrava da cadeia selecionada são indicadas em instrumentos de medida, denominados **decômetros** (um para cada par de estações Mestra/Escrava), proporcionando três LDP Decca.

Figura 36.13 – Cadeia DECCA



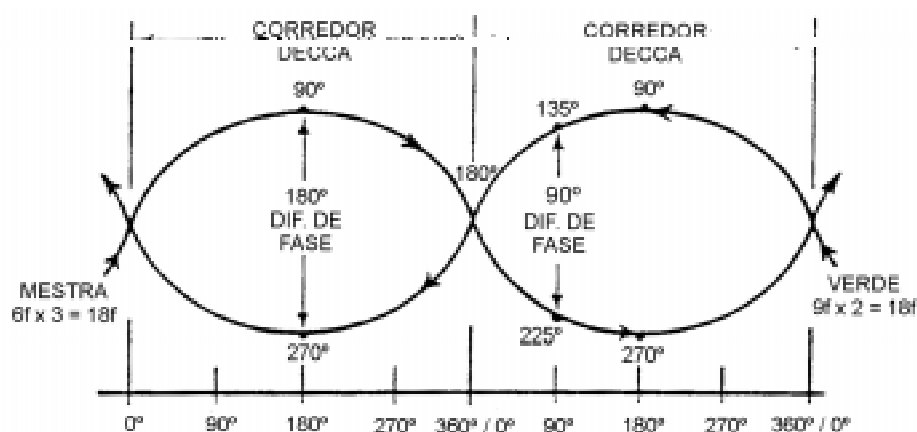
Os **decômetros** utilizados na medida das diferenças de fase permitem determinar diferenças de ângulos de fase entre os sinais da ordem dos 3° a $3,5^\circ$, ou seja, podem individualizar cerca de 100 hipérboles de posição em cada corredor (360° de fase). Por essa razão, os **decômetros** são graduados em centésimos de corredor (“centilanes”).

36.8 IDENTIFICAÇÃO DOS CORREDORES DECCA

Na figura 36.14, está ilustrada a comparação de fase entre os sinais da estação Mestra e da escrava Verde (na frequência de comparação **18f**), estando mostrados 2 corredores (cada um equivalente a meio comprimento de onda, ou $\lambda/2$). No corredor da esquerda, um receptor está localizado em uma posição onde a diferença de fase medida entre o par Mestra/Verde é de 180° ; então, o receptor deve estar situado em um ponto no meio do

corredor. No corredor da direita, a diferença de fase medida é de 90° ; assim, o receptor está situado a 0,25 da largura do corredor, a partir da Mestra, na direção da escrava Verde. Entretanto, apenas com a medida da diferença de fase ficaria impossível determinar em que corredor o receptor está localizado. A medida da diferença de fase de 180° , por exemplo, colocaria o receptor no meio de qualquer corredor do par de estações Mestra/Escrava, ou seja, a medida somente da diferença de fase conduz à ambigüidade (a cada valor medido correspondem tantas hipérboles quantos são os corredores existentes entre o par de estações considerado). Portanto, torna-se necessário dispor de uma informação adicional que permita identificar o corredor em que está situado o navio.

Figura 36.14 – Diferenças de Fase num Corredor DECCA



A comparação de fase entre a Mestra e a escrava Verde é, como vimos, feita na frequência $18f$. Se a frequência fundamental for de 14,00 kHz, a frequência de comparação será de 252 kHz e o comprimento de onda (λ) de 1.190,48 m. Assim, o **corredor** Decca ($\lambda/2$) terá, na **linha base**, a largura de 595,24 metros. Então, para identificar o **corredor** em que está o navio, teríamos que conhecer nossa **posição estimada** com uma precisão de cerca de 300 metros ($1/2$ corredor), o que tornaria dispensável a utilização do Decca.

No sistema Decca, a identificação do corredor é obtida pela transmissão de um **signal de identificação de corredor**, de 0,6 segundo de duração, emitido a cada 20 segundos pela Mestra e por todas as Escravas de uma cadeia.

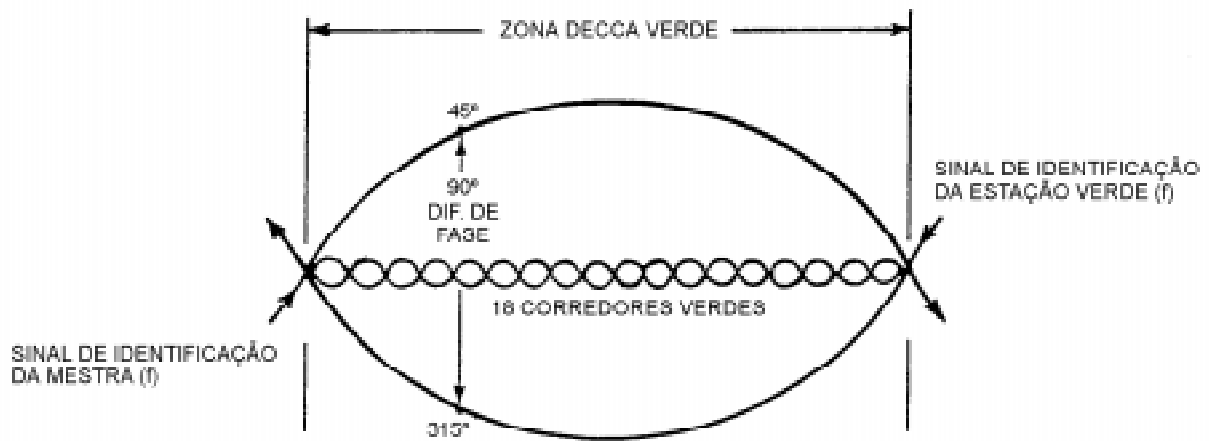
Os sinais de identificação de corredor são combinados no receptor de modo a produzir um trem de pulsos na frequência fundamental (f) da cadeia de estações. Fica gerada, assim, uma rede hiperbólica mais larga para cada par. Um corredor na frequência fundamental (f), considerada de 14,00 kHz, tem uma largura na linha base de 10.714,29 metros, o que corresponde a 18 corredores na frequência de comparação Mestra/Verde ($18f$), como mostrado na figura 36.15.

A faixa compreendida entre duas hipérboles de diferença de fase nula na frequência fundamental (f) é denominada **zona**. Sendo constante para todas as cadeias Decca a relação harmônica das frequências de comparação para cada par ($18f$, $24f$ e $30f$), e sendo sempre f a frequência de identificação, resulta que cada **zona** contém sempre o mesmo número de corredores, em qualquer cadeia: 18 corredores Verdes, 24 corredores Vermelhos e 30 corredores Púrpuras.

Na figura 36.15, por exemplo, a comparação de fase dos sinais de identificação de corredor da Mestra e da escrava Verde indicam que o receptor está localizado no quinto

corredor contido pela zona, medido a partir da Mestra, na direção da escrava Verde. Dentro do corredor, a diferença de fase é de 90° .

Figura 36.15 – Identificação do Corredor DECCA



Além do **sinal de identificação de corredor** acima descrito, as estações Decca transmitem, durante cada ciclo de 20 segundos, um **sinal de identificação de zona**, em uma frequência igual a $8,2f$ (sendo f a frequência fundamental da cadeia). Esta frequência, denominada frequência laranja, é comparada, em receptores convenientemente equipados, com a frequência $8f$, para formar um padrão hiperbólico ainda mais largo, no qual 360° de diferença de fase compreendem 5 zonas. Medida esta diferença de fase, o receptor identifica em que zona o navio está localizado.

36.9 DESIGNAÇÃO DE CORREDORES E ZONAS DECCA

Para fins de identificação, em cada cadeia Decca as zonas são designadas por uma letra, de **A** até **J**, começando em **A** quando ao par correspondem mais de 10 zonas. Cada corredor dentro de uma zona é identificado por números, começando do lado da estação Mestra. A numeração é atribuída do seguinte modo:

- CORREDORES VERMELHOS: 0 a 24;
- CORREDORES VERDES: 30 a 48; e
- CORREDORES PÚRPURAS: 50 a 80.

Os decômetros típicos (um para cada par) têm dois mostradores: o mostrador externo indica o **corredor**, estando subdividido em tantas divisões quantos forem os corredores existentes em cada zona. O mostrador interno, contendo 100 divisões, indica a **diferença de fase** entre os sinais que compõem o par, em centésimos de corredor (“centilanes”). Além disso, é indicada, também, a **zona** em que se encontra o navio, em uma janela no medidor.

36.10 OBTENÇÃO E PLOTAGEM DA POSIÇÃO DECCA

Uma linha de posição Decca será, então, identificada por:

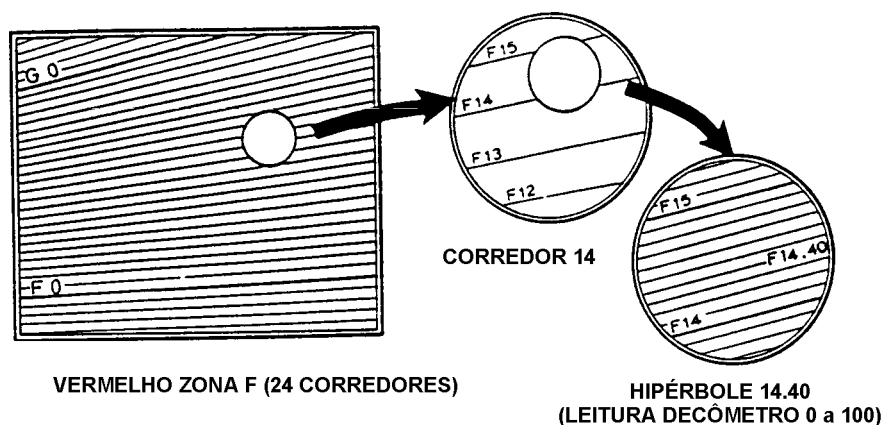
- Letra correspondente à zona Decca em que se encontra o navio;
- número de 0 a 80, que individualiza o corredor em que está o navio dentro da zona, identificando-o simultaneamente como VERMELHO, VERDE ou PÚRPURA; e
- número centesimal (“centilanes”) que corresponde à diferença de fase entre os sinais do par e que define a LDP dentro do corredor.

EXEMPLO:

Linha de posição Decca F. 14,40 significa (figura 36.16):

- LDP Vermelha (par Mestra/Escrava Vermelha);
- Zona F;
- Corredor 14;
- Hipérbole (LDP) 14,40.

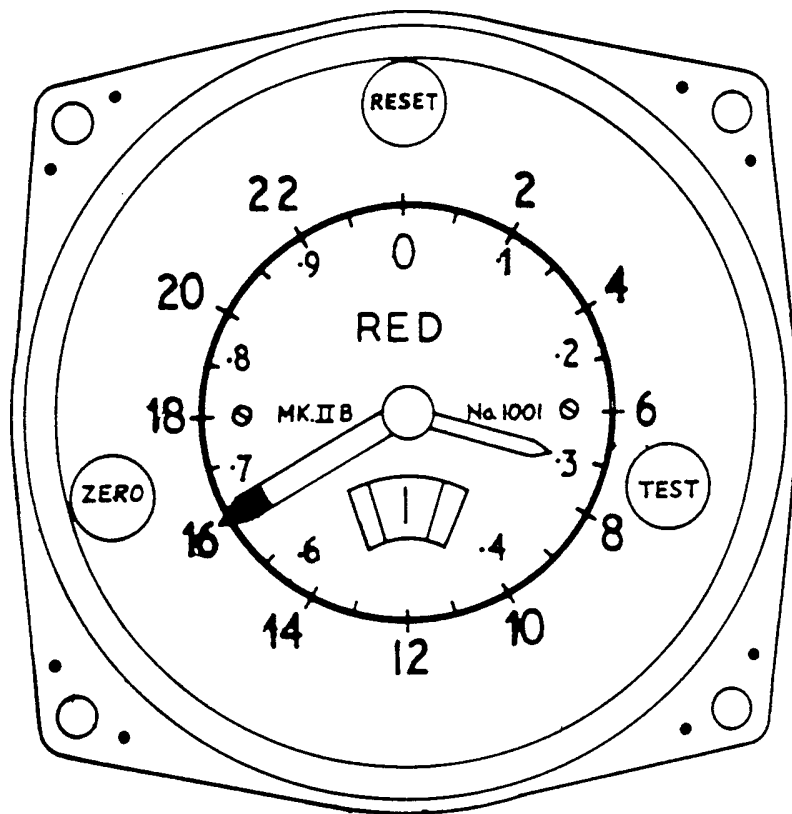
Figura 36.16 – LDP DECCA Vermelho F. 14,40



Num **decômetro** típico, o ponteiro grande indica, no mostrador externo do dial, o valor do **corredor** Decca; o ponteiro pequeno indica, no mostrador interno, os **centésimos de corredor**. A letra que indica a **zona** Decca aparece em uma janela no dial. Na figura 36.17, por exemplo, a **zona I** aparece na janela do dial; o ponteiro grande indica o **corredor** número **16 (Vermelho)**; o ponteiro pequeno indica os **centésimos de corredor** **(0,30)**. Assim, a LDP Decca será: I. 16,30 (Vermelho, zona I, corredor 16, hipérbole 16,30).

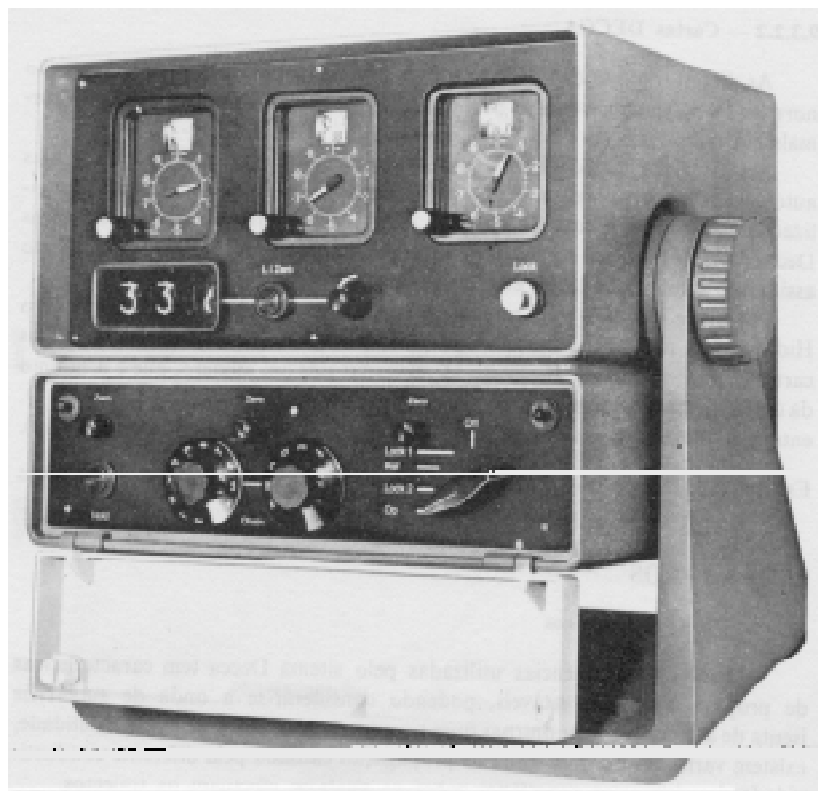
O modelo atual de receptor Decca de bordo, designado MK 21, mostrado na figura 36.18, incorpora três decômetros, um para cada par da cadeia Decca (Vermelho, Verde e Púrpura) e um mostrador LED que apresenta o valor do corredor para cada par da cadeia, três vezes por minuto. Quando o receptor é ajustado para uma determinada cadeia Decca, os **decômetros** passam a indicar leituras contínuas da **zona**, **corredor** e **centésimos de corredor**, para cada par de estações, até que o navio saia do alcance da cadeia. No modelo MK 21, as leituras de fração de corredor (**centésimos de corredor**) são apresentadas em mostradores circulares; o número do **corredor** e a letra de identificação da **zona** aparecem em uma janela situada logo acima de cada mostrador circular.

Figura 36.17 – Decômetro Típico (Indicação: Vermelho I. 16.30)



**DECCA CO-ORDINATE
RED I. 16.30**

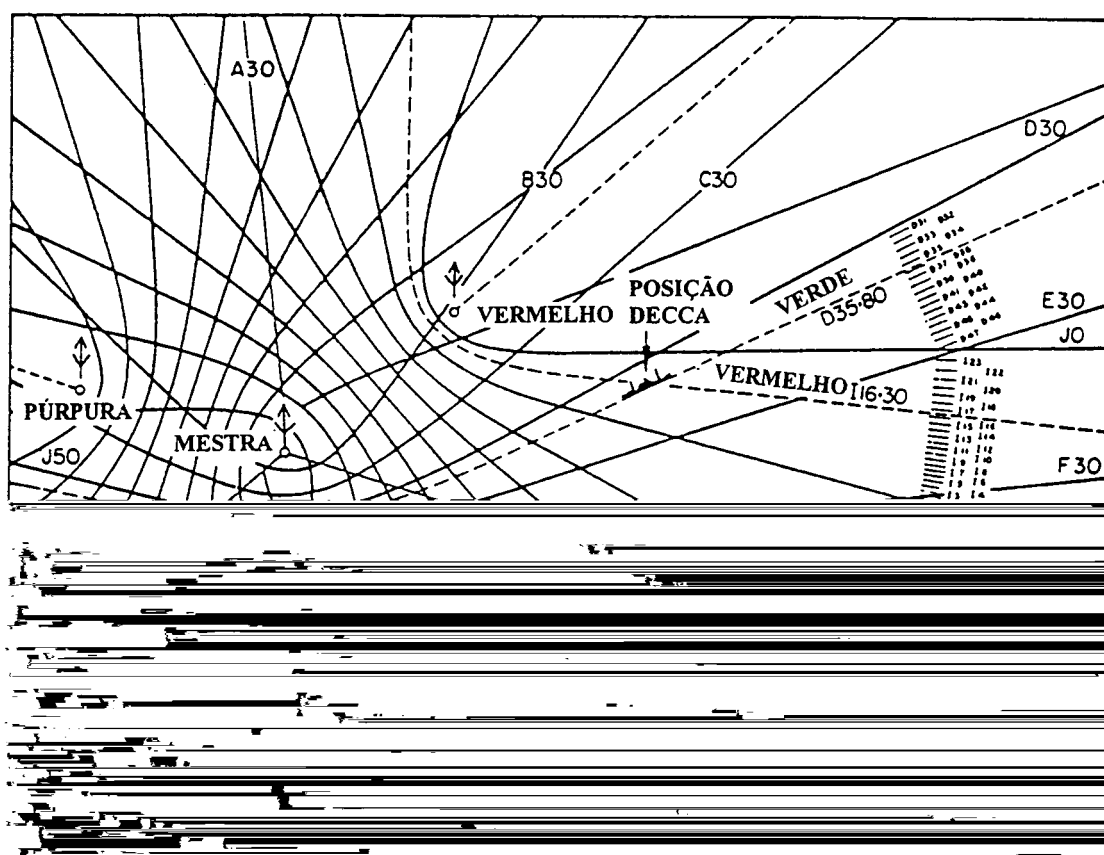
Figura 36.18 – Receptor DECCA MK-21



Além disso, conforme mencionado, a identificação de corredor também é apresentada sequencialmente, sob a forma numérica, no mostrador LED retangular existente sob o **decômetro** da esquerda. Essa indicação de corredor, em conjunto com a posição estimada (para a identificação da **zona** Decca), é utilizada para inicializar as janelas dos **decômetros**.

Os valores das LDP Decca são plotados, como segmentos de LDP hiperbólica, na Carta Decca, onde estão representados os padrões hiperbólicos correspondentes aos três pares de estações da cadeia em uso. Um exemplo de plotagem de posição Decca está mostrado na figura 36.19.

Figura 36.19 – Plotagem de Posição DECCA



As linhas de posição Decca são impressas sobre cartas náuticas regulares, em vermelho, verde e púrpura, para identificar o par de estações da cadeia a que se referem. As hipérboles limites de zona são, normalmente, impressas em traço mais grosso. Estas cartas especiais são chamadas de **Cartas Decca**. Existem, ainda, equipamentos de plotagem (“plotters”) automáticos, projetados para plotar as posições Decca e traçar continuamente a derrota do navio sobre uma folha de plotagem, usando informações fornecidas pelo receptor Decca.

36.11 FUTURO DO SISTEMA DECCA

Como vimos, o Decca apresentava a característica única de ser um sistema de navegação de propriedade de uma empresa privada. O equipamento Decca era instalado e

mantido a bordo, em regime de aluguel, pela Decca Navigator Co. Ltd., responsável, também, pela operação e manutenção das cadeias de estações. Hoje, a operação do sistema é subsidiada pelo Governo Britânico.

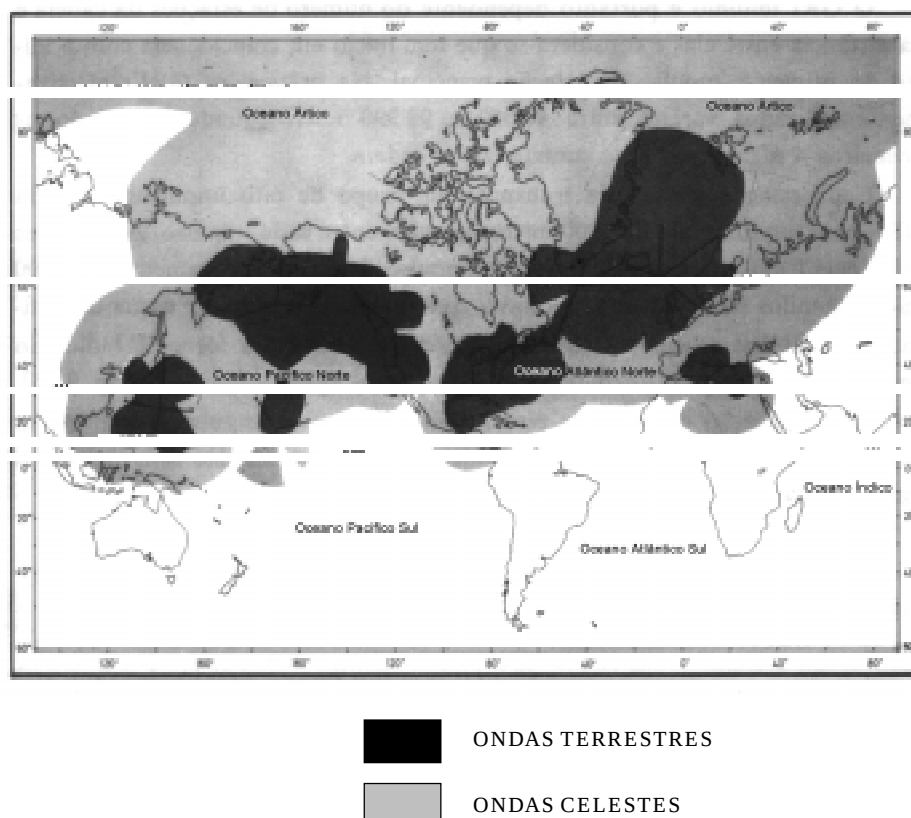
O uso do Decca, principalmente por navios mercantes e barcos pesqueiros operando ao largo da Terra Nova, no Mar do Norte, no Canal da Mancha e no Mar do Japão, é tão intenso que pode-se prever que o sistema permanecerá em operação, a despeito da disponibilidade do GPS.

36.12 SISTEMA LORAN-C DE NAVEGAÇÃO

O Sistema LORAN-C (abreviatura de “Long-Range Navigation”) foi originalmente desenvolvido pelos Estados Unidos em 1940, tendo constituído uma das primeiras tentativas de implementação de um sistema hiperbólico de navegação de longo alcance, capaz de proporcionar, continuamente e em qualquer condição de tempo, informação de posicionamento para navios ou aeronaves. A Segunda Guerra Mundial e a Guerra da Coréia aceleraram o estabelecimento do sistema, inicialmente denominado de LORAN-A. O sistema original evoluiu para o atual LORAN-C. As principais estações LORAN-C tornaram-se operacionais em 1957.

O sistema foi gradualmente aprimorado e expandido, até que, no final da década de 1970, sua cobertura por ondas terrestres estendia-se sobre a maioria das regiões costeiras do Atlântico Norte, com ondas celestes alcançando a maior parte do Hemisfério Norte, com exceção do Oceano Índico e do Pacífico NW. A U.S. Coast Guard é a responsável pela operação do LORAN-C. A cobertura atual do sistema é mostrada na figura 36.20.

Figura 36.20 – Cobertura do Sistema Loran-C



36.13 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO LORAN-C

O LORAN-C é um sistema hiperbólico de radionavegação, de longo alcance, que utiliza pulsos de radiofrequência da faixa de LF (frequência básica de 100 kHz). O sistema é baseado na medida da **diferença do tempo de recepção** de sinais transmitidos por duas estações. Como vimos, se um receptor a bordo for capaz de medir a **diferença de tempo** de recepção de sinais transmitidos sincronizadamente por duas estações, ficará determinada uma LDP hiperbólica (definida como o lugar geométrico de todos os pontos que têm a mesma diferença de distâncias para as duas estações), pois a uma dada **diferença de tempo**

As baixas frequências e as altas potências de transmissão (mais de 1.500 kW em algumas estações) permitem que as **ondas terrestres** do LORAN-C, sob determinadas condições, penetrem nas camadas superficiais do mar, possibilitando sua recepção por submarinos submersos, na cota periscópica.

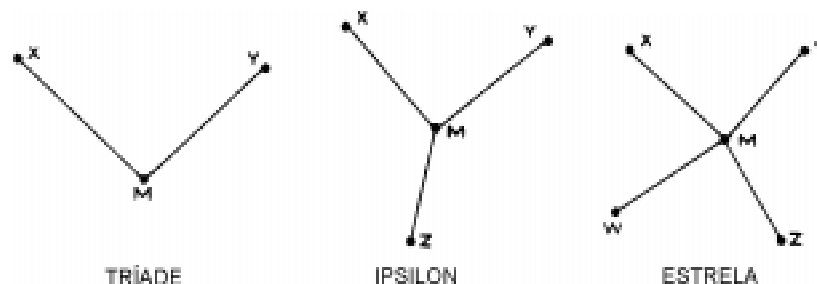
36.14 OPERAÇÃO DO SISTEMA LORAN-C

a. CADEIAS LORAN-C

Para que o utilizador possa determinar a sua posição, é necessário que obtenha pelo menos duas LDP (linhas de posição). Para que isso seja sempre possível, as estações LORAN-C são agrupadas em cadeias constituídas por uma estação Mestra (**M**) e duas ou mais estações Secundárias (ou Escravas), designadas pelas letras **X**, **Y**, **Z** e **W**. As estações de uma cadeia têm a localização e distribuição geográfica necessária para que, em qualquer ponto da área de cobertura, possam ser sempre recebidos os sinais da estação Mestra e de, pelos menos, duas estações Secundárias. Todas as estações LORAN-C estão equipadas com relógios atômicos (padrões de cézio) que lhes permitem estabelecer individualmente os instantes de transmissão e a sincronização de fase, sem necessidade de que as Secundárias recebam, para referência e disparo de suas emissões, os sinais da estação Mestra. Com isso, nas cadeias atuais do LORAN-C as **linhas-base** puderam ser estendidas para distâncias entre 1.000 e 1.500 milhas náuticas.

As estações das cadeias LORAN-C podem estar dispostas em triângulo (tríade), ou, quando existem mais de duas Secundárias, em “**Y**” ou em **estrela** (“star pattern”), ocupando, nesses casos, a estação Mestra uma posição central, com relação às Secundárias, como está representado na figura 36.21. Em cada cadeia pode existir uma ou mais estações monitoras, com equipamento receptor de alta precisão, onde se efetua continuamente a verificação das diferenças de tempo de cada par Mestra–Secundária. Estas estações podem originar a correção do instante de transmissão das estações Secundárias, se for constatada uma diferença igual ou superior à metade do valor da tolerância estabelecida, que é da ordem de 200 nanossegundos.

Figura 36.21 – Cadeias LORAN-C



b. FORMATO DO SINAL LORAN-C

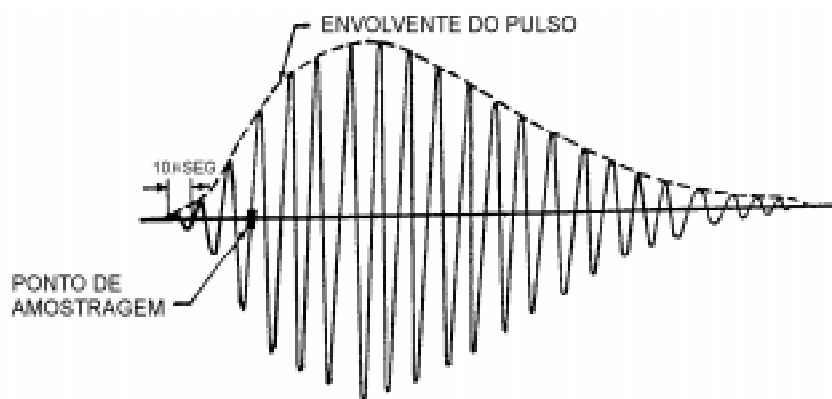
Os sinais das estações LORAN-C são formados por grupos de pulsos, sendo que a frequência da onda portadora é de 100 kHz, estando 99% da energia irradiada contida entre as frequências de 90 kHz e 110 kHz. A frequência de transmissão do sinal LORAN-C requer uma potência muito elevada, para que a onda terrestre se propague até o longo alcance para o qual o sistema foi projetado. Além disso, nessa frequência as ondas celestes

se irradiam de uma forma tal que alcançam o receptor num período de tempo muito curto após a chegada da onda terrestre, praticamente em qualquer ponto da área de cobertura de uma determinada cadeia.

Para reduzir os requisitos de grandes potências, o LORAN-C utiliza um sinal composto por pulsos múltiplos (“multipulsed signal”). Cada transmissão de uma estação Mestra consiste, na realidade, de 9 pulsos; os oito primeiros são separados entre si por intervalos de 1.000 ms, e o nono pulso por 2.000 ms. Cada estação Secundária transmite 8 pulsos, separados entre si por intervalos de 1.000 ms. O pulso extra do sinal da Mestra é usado para identificação dessa estação e indicação de problemas na cadeia LORAN-C. No receptor LORAN-C, os oito pulsos básicos de cada sinal são integrados eletronicamente, de modo a formar pulsos de alta intensidade, da Mestra e das estações Secundárias (Escravas), de 300 ms de duração aproximada. Tais pulsos, então, são eletronicamente comparados, para obter as diferenças de tempo.

Para eliminar a contaminação, ou interferência, das ondas celestes, os pulsos integrados da Mestra e das estações Secundárias são comparados num ponto de amostragem situado exatamente a 30 ms do bordo de vante do pulso. Assim, a medida das diferenças de tempo é feita antes que qualquer onda celeste refletida possa alcançar o receptor. O formato do pulso integrado LORAN-C está mostrado na figura 36.22.

Figura 36.22 – Pulso Integrado LORAN-C

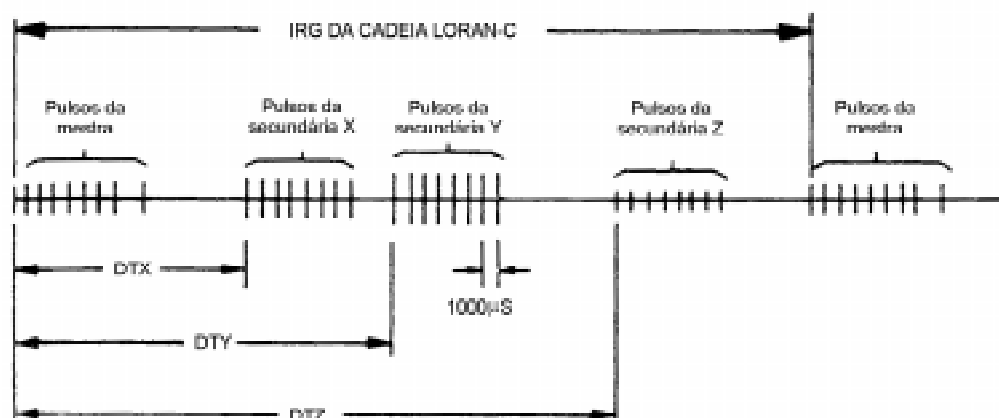


Os sinais de pulsos múltiplos da Mestra e das estações Secundárias de uma cadeia LORAN-C são transmitidos em uma seqüência predeterminada, como mostrado na figura 36.23. A seqüência é calculada de forma que o sinal da Mestra alcance cada uma das estações Secundárias da cadeia antes que estas emitam seus sinais. Além disso, um atraso de código é incluído entre as transmissões das Secundárias, de modo a assegurar que todas as emissões sejam recebidas na mesma seqüência, em toda área coberta pela cadeia.

O intervalo de tempo entre dois inícios consecutivos de transmissão da Mestra é denominado Intervalo de Repetição do Grupo de Pulsos (**IRG**). Cada cadeia LORAN-C tem um **IRG** (conhecido, em inglês, como **GRI**, “group repetition interval”) diferente, expresso em microssegundos. Como as durações das transmissões da Mestra e das Secundárias são fixas, o **IRG** depende dos intervalos de tempo entre emissões, ou seja, dos atrasos fixos e de código, que são calculados, conforme vimos, de tal maneira que, dentro da cobertura de uma cadeia LORAN-C, não é possível a recepção fora da ordem da transmissão. Assim, numa cadeia constituída pela Mestra **M** e três Secundárias **X**, **Y** e **Z**, as estações

transmitem nesta seqüência e, em qualquer ponto da área de cobertura, os pulsos emitidos também serão sempre recebidos nessa mesma seqüência: **M**, **X**, **Y** e **Z**. Então, cada estação Secundária atrasa sua emissão de um tempo especificado, denominado atraso de código da Secundária. O receptor LORAN-C leva em conta este atraso de código conhecido, quando mede a diferença de tempo (DT) de recepção dos sinais da Mestra e das Secundárias, para determinar as LDP LORAN.

Figura 36.23 – Formato do Sinal LORAN-C



IRG = Intervalo de repetição do grupo;

DTX = diferença de tempo do par X;

DTY = diferença de tempo do par Y;

DTZ = diferença de tempo do par Z.

c. IDENTIFICAÇÃO DA CADEIA E DAS LDP LORAN-C

Cada cadeia LORAN-C é identificada pelos 4 primeiros dígitos de seu **IRG**, expresso em microssegundos; a estação Secundária é identificada pela adição ao **IRG** de um sufixo, correspondente à sua letra de designação. Assim, o código 7970-X designa o par Mestra–Secundária **X**, da cadeia cujo **IRG** é 79.700 ms (cadeia do Mar da Noruega). Uma diferença de tempo (DT) observada é acrescentada ao código básico acima citado, definindo de maneira completa uma LDP LORAN-C.

Por exemplo, a LDP 9960-X-26450 representa:

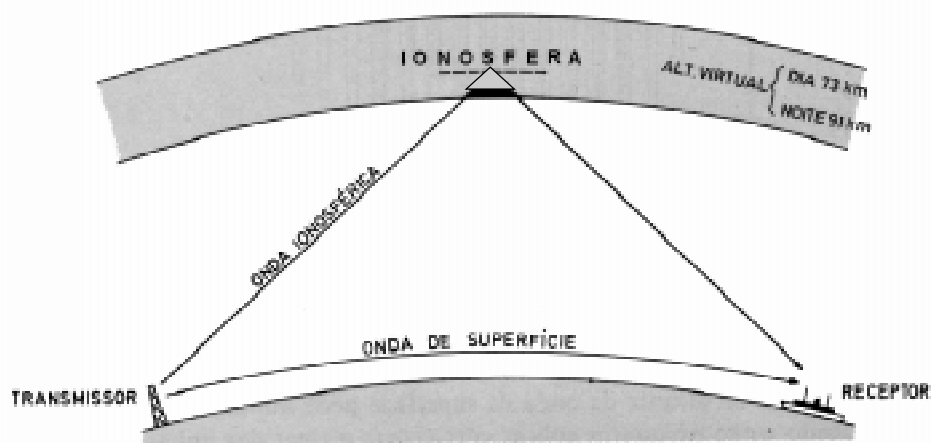
- uma LDP hiperbólica correspondente a uma diferença de tempo (DT) de 26.450 microssegundos, entre a recepção do sinal da Mestra e da Secundária **X**;
- na cadeia LORAN-C cujo **IRG** é 99.600 ms (cadeia Nordeste dos Estados Unidos).

36.15 USO DAS ONDAS CELESTES NO LORAN-C

Como vimos, a precisão do LORAN-C é obtida pelo uso da **onda terrestre**, mas as **ondas celestes**, refletidas na ionosfera, também estão sempre presentes (figura 36.24). Na área de cobertura da **onda terrestre**, a interferência das **ondas celestes** causa distorção na recepção, sob a forma de enfraquecimento do sinal (“fading”) e mudanças no formato do pulso. O formato do sinal LORAN-C e o projeto dos receptores do sistema

procuram evitar a contaminação da onda ionosférica, a fim de eliminar os erros causados por essa interferência. Entretanto, as **ondas celestes** proporcionam um valioso aumento do alcance do LORAN-C, embora com menor precisão de posicionamento. Assim, para além do alcance da **onda terrestre** pode-se utilizar a **onda ionosférica**, sendo, então, necessário aplicar correções às leituras de diferença de tempo (DT) obtidas no receptor. Essas correções constam das Cartas LORAN-C.

Figura 36.24 – Onda Terrestre e Onda Celeste



36.16 OBTENÇÃO E PLOTAGEM DA POSIÇÃO LORAN-C

O receptor mede duas ou mais diferenças de tempo entre a recepção dos pulsos da Mestre e das Secundárias da cadeia LORAN-C que cobre a área, definindo duas ou mais linhas de posição hiperbólicas. A posição do receptor estará na interseção das LDP (figura 36.25).

Obtidas as diferenças de tempo (DT) que constituem as LDP, a posição será plotada na Carta LORAN-C que apresenta os padrões hiperbólicos da cadeia, traçando, como linhas retas, pequenos segmentos de LDP hiperbólicas, de maneira semelhante ao procedimento adotado para plotagem de uma posição Decca. Para facilitar a interpolação das LDP entre duas hipérboles representadas, as Cartas LORAN-C incluem um **interpolador linear** (figura 36.26), cujo uso é idêntico ao do interpolador Omega (ver o Apêndice a este Capítulo).

Por exemplo, na Carta LORAN-C da figura 36.27 está plotada a posição de 1715 horas, definida pelas seguintes LDP (DIFERENÇAS DE TEMPO):

9930 – X – 37.975,0

9930 – Y – 70.025,0

9930 – Z – 49.181,0

A Carta LORAN-C deve ser examinada, de modo a determinar quais sinais devem ser usados, para proporcionar uma boa geometria para a posição (ângulos de corte das LDP $\geq 30^\circ$).

Figura 36.25 – Geometria da Posição Hiperbólica LORAN-C

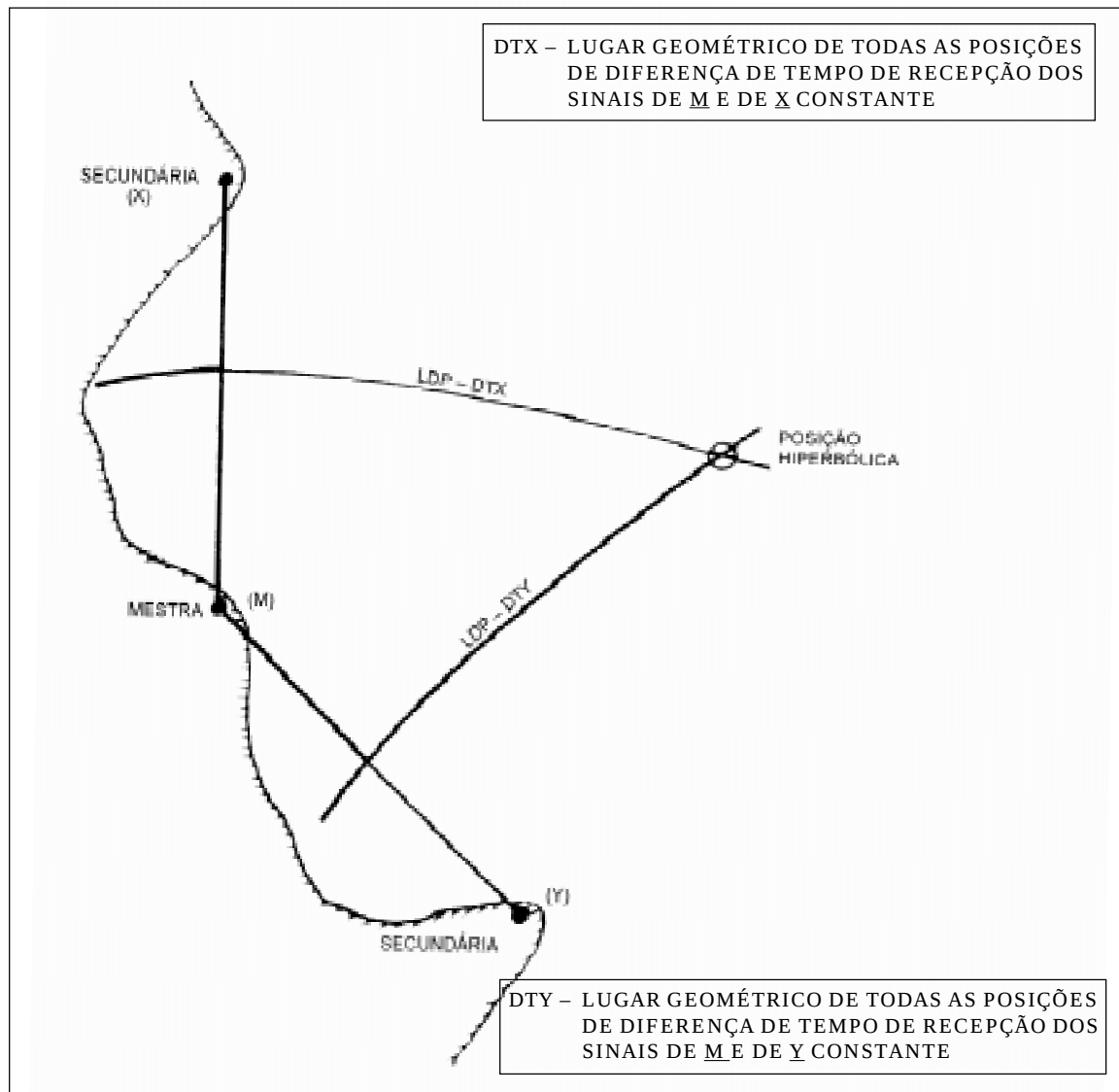


Figura 36.26 – Interpolador Linear LORAN-C

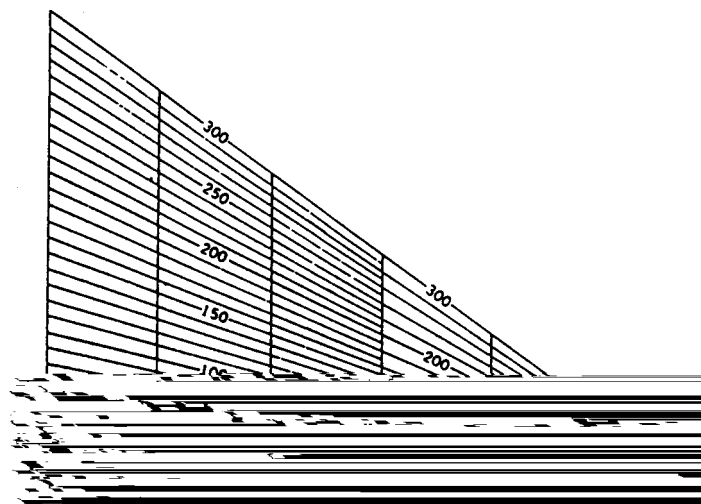
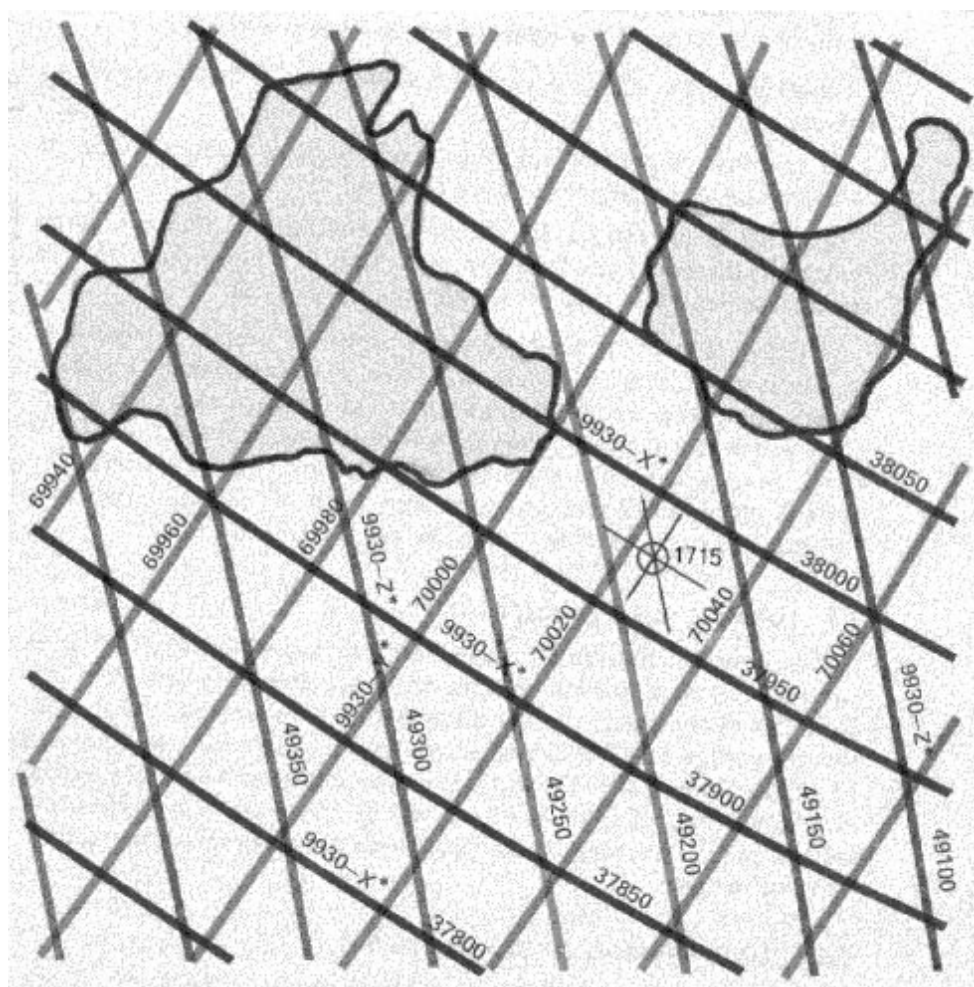


Figura 36.27 – Carta LORAN-C

Se for obtida apenas uma diferença de tempo (DT), a LDP LORAN-C determinada poderá ser cruzada com uma LDP obtida por outro meio, para definir a posição do navio.

As cartas LORAN-C atualmente existentes são, na sua quase totalidade, cartas náuticas comuns, tendo sobreimpressas as redes hiperbólicas LORAN-C. Estas cartas são corrigidas pelos Avisos aos Navegantes e podem, portanto, ser utilizadas para efetuar a navegação.

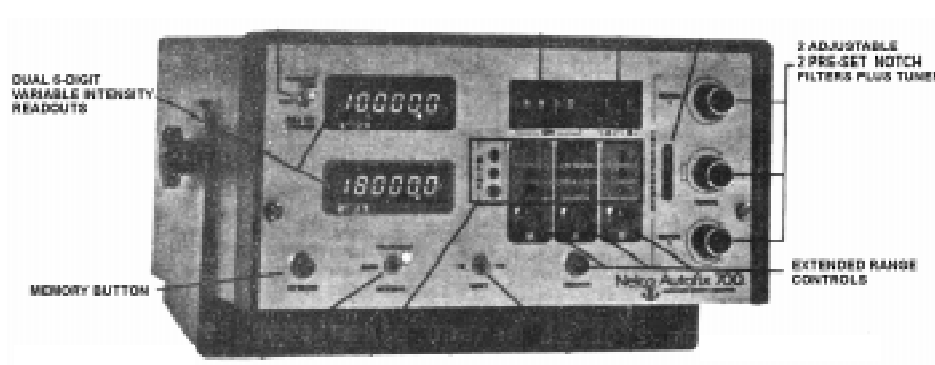
As redes hiperbólicas são impressas em diferentes cores a intervalos de 20, 50, 100 ou 200 microssegundos, conforme a escala da carta. As linhas de posição correspondentes às leituras do receptor só raramente coincidirão com as hipérboles impressas na carta, sendo, portanto, necessário interpolar. A interpolação deve ser sempre feita a partir da hipérbole impressa mais próxima da leitura e utilizam-se para isso os interpoladores gráficos também impressos nas próprias cartas, conforme anteriormente mencionado. As cartas contêm, também, as correções em microssegundos para aplicar às leituras, no caso de se utilizar a onda ionosférica.

36.17 RECEPTORES LORAN-C

Nos últimos 20 anos houve um grande desenvolvimento tecnológico nos receptores LORAN-C, que resultou em receptores compactos, quase que totalmente automáticos e

de preço acessível (US\$ 500 a US\$ 1,000 para diversos modelos). Muitos receptores incorporam computadores que proporcionam leitura digital direta da Latitude e Longitude da posição, com precisão de décimo de minuto de arco. Além disso, fornecem rumo e velocidade no fundo; rumo, distância e tempo para o próximo ponto da derrota ou para o ponto de destino; rumo e velocidade da corrente, etc. Uma vez ligados e inicializados, esses receptores selecionam automaticamente a melhor cadeia LORAN-C a utilizar, baseado na intensidade dos sinais na área, e a melhor combinação de pulsos Mestra–Secundária, a fim de obter uma boa geometria para as posições (figura 36.28).

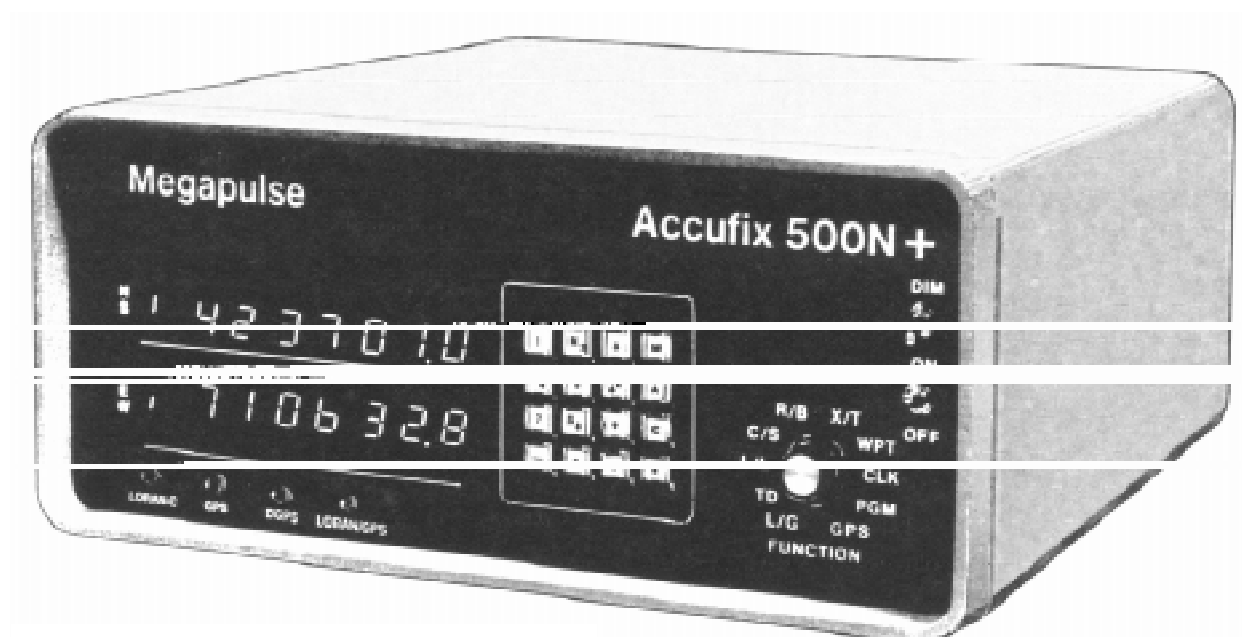
Figura 36.28 – Receptor Automático LORAN-C



Outros equipamentos combinam, em um mesmo aparelho, receptores dos sistemas LORAN-C e GPS, aproveitando as vantagens de ambos e utilizando um como “back-up” do outro (figura 36.29).

Figura 36.29 – Receptor Combinado LORAN-C e GPS

The Precision Navigation LORAN-C / GPS Receiver System



Os receptores básicos do sistema, contudo, fornecem somente as **diferenças de tempo (DT)**, que são usadas como LDP para plotagem das posições, nas Cartas LORAN-C.

36.18 O FUTURO DO LORAN-C

O LORAN-C continua intensamente utilizado, tanto na navegação marítima como na navegação aérea. De fato, estima-se que existam hoje mais de 70.000 utilizadores aeronáuticos do LORAN-C, o que excede o número de usuários marítimos. Como consequência, duas novas cadeias LORAN-C foram instaladas no Oeste dos Estados Unidos, completando a cobertura do sistema sobre todo o território continental daquele país. Assim, espera-se que o LORAN-C permaneça operacional ainda por vários anos.

37.1 O SISTEMA NAVSTAR GPS. DESCRIÇÃO, PRINCÍPIO BÁSICO DE FUNCIONAMENTO E OPERAÇÃO DO SISTEMA

A meta do navegante consistia em dispor de um sistema capaz de fornecer com precisão sua posição, a qualquer hora, em qualquer lugar da Terra e sob quaisquer condições meteorológicas. O sistema TRANSIT, ou NAVSAT, apresentado no Apêndice a este Capítulo, constituiu, de fato, a primeira aproximação deste ideal. No entanto, seus satélites usavam órbitas muito baixas e, além disso, a constelação era pouco numerosa, de modo que as posições obtidas não eram muito frequentes. Ademais, sendo o sistema baseado em medidas do desvio Doppler de frequências relativamente baixas, estava sujeito a problemas de propagação e até mesmo pequenos movimentos do receptor podiam causar erros significativos na posição determinada.

No início dos anos 70, a necessidade de um sistema de navegação por satélites de alta precisão, com cobertura mundial, que fosse disponível a qualquer momento, sob quaisquer condições meteorológicas, tornou-se premente no âmbito das forças armadas dos Estados Unidos. Além disso, uma capacidade de posicionamento contínuo tridimensional (ou seja, Latitude, Longitude e altitude) foi estabelecida como requisito essencial do sistema, em contraste com a capacidade apenas bidimensional e periódica do sistema TRANSIT. Tal sistema deveria ser empregado não só por navios, submarinos, aeronaves

e veículos militares terrestres, mas, também, deveria ser de grande utilidade para o segmento civil, em uma ampla variedade de aplicações, desde mapeamento topo-hidrográfico de precisão até sistemas anti-colisão de navios e aeronaves.

Em abril de 1973, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos iniciou formalmente o programa de desenvolvimento de um sistema de navegação por satélites de segunda geração, denominado Sistema Global de Posicionamento NAVSTAR, ou GPS. Mais tarde, neste mesmo ano, juntaram-se ao projeto representantes militares e civis de todas as forças armadas norte-americanas, da Guarda Costeira dos EUA e dos países da OTAN. O desenvolvimento do GPS tornou-se um empreendimento de grande porte, significando um investimento de mais de 12 bilhões de dólares.

O Sistema de Posicionamento Global por Satélites NAVSTAR GPS (“NAVIGATION SYSTEM BY TIME AND RANGING – GLOBAL POSITIONING SYSTEM”), ou, abreviadamente, GPS, como já é conhecido pelos navegantes, é constituído por três componentes principais: o segmento espacial (satélites), o segmento terrestre (monitoramento e controle) e o segmento do usuário (receptores GPS e equipamentos associados). As três partes operam em constante interação (figura 37.1), proporcionando, simultânea e continuamente, dados de posicionamento tridimensional (Latitude, Longitude e altitude), rumo, velocidade e tempo (hora), com alta precisão.

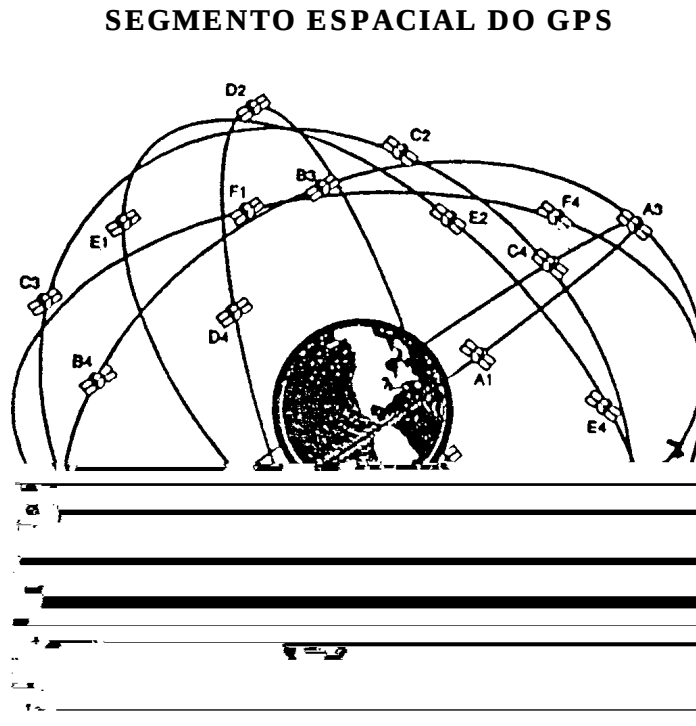
Figura 37.1 – Componentes do Sistema NAVSTAR GPS



No que se refere ao segmento espacial, após o exame de várias possíveis configurações, optou-se por um sistema baseado em uma constelação de 24 satélites, em órbitas de grande altitude ao redor da Terra. Os 24 satélites GPS (figura 37.2) estão distribuídos em 6 planos orbitais (com 4 satélites em cada um), designados, respectivamente, **A**, **B**, **C**, **D**, **E** e

F. Esses planos orbitais têm uma inclinação de 55° em relação ao Equador e os satélites executam uma órbita circular muito elevada, a uma altura de aproximadamente 20.200 quilômetros (cerca de 10.900 milhas náuticas), com um período orbital de 11 horas e 58 minutos. Entre os 24 satélites, 21 são ativos e 3 reservas, prontos para entrarem em operação.

Figura 37.2 – Constelação de Satélites GPS



O segmento espacial do GPS foi projetado para garantir, com uma probabilidade de 95%, que pelo menos 4 satélites estejam sempre acima do horizonte (com uma altura maior que a elevação mínima de 5° requerida para uma boa recepção), em qualquer ponto da superfície da Terra, 24 horas por dia. Em muitas ocasiões, entretanto, 12 ou 13 satélites estarão visíveis para um usuário na superfície na Terra. O projeto de órbita circular e a alta elevação tornam o sistema muito estável, com variações orbitais que são relativamente fáceis de modelar, em comparação com satélites de órbita baixa, como os utilizados no sistema TRANSIT.

Os satélites usados no programa NAVSTAR GPS são de porte significativo, conforme pode ser visto no desenho esquemático da figura 37.3, pesando 863 kg (cerca de 1900 libras) em órbita. Os satélites são, na realidade, plataformas multipropósito, utilizadas para uma série de outros projetos militares além do GPS, tal como a detecção e localização de explosões nucleares. Os modelos preliminares (BLOCK 1), denominados satélites de desenvolvimento, começaram a ser lançados em fevereiro de 1978. Os lançamentos iniciais foram efetuados pelo ônibus espacial ("Space Shuttle") da NASA. Em fevereiro de 1989 foi lançado o primeiro satélite BLOCK 2, ou satélite de produção, três anos após o trágico desastre com o ônibus espacial "Challenger" (28/01/86). Os satélites BLOCK 2 são lançados por foguetes Delta II (figura 37.3a), desenvolvidos especialmente para este fim. O uso do BLOCK 2 significou não apenas um novo modelo de satélite, mas também inaugurou um novo veículo de lançamento, um novo sistema de comando e controle e uma nova instalação terrestre de controle, em Colorado Springs, EUA, tudo dentro de uma nova estrutura administrativa para o NAVSTAR GPS.

Figura 37.3 – Satélite GPS

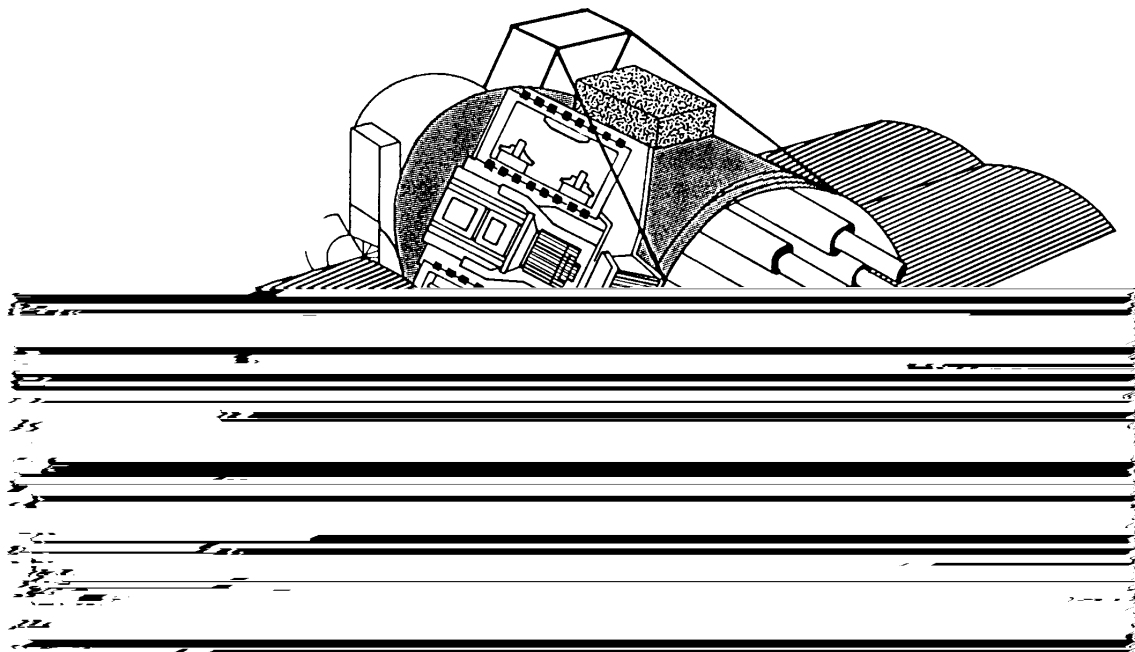
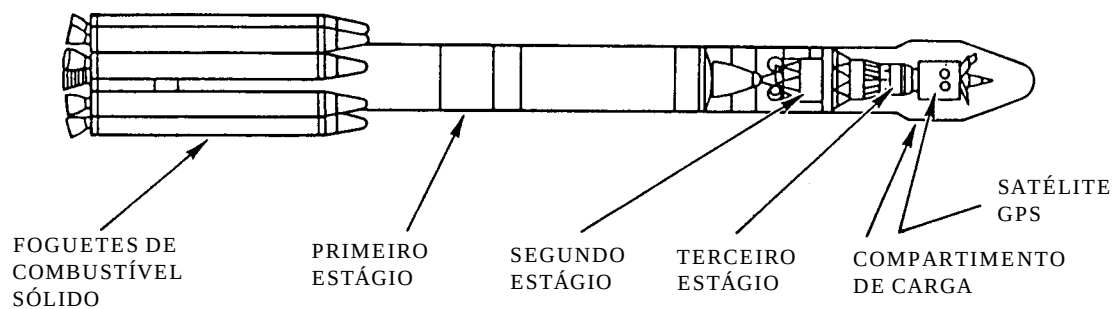
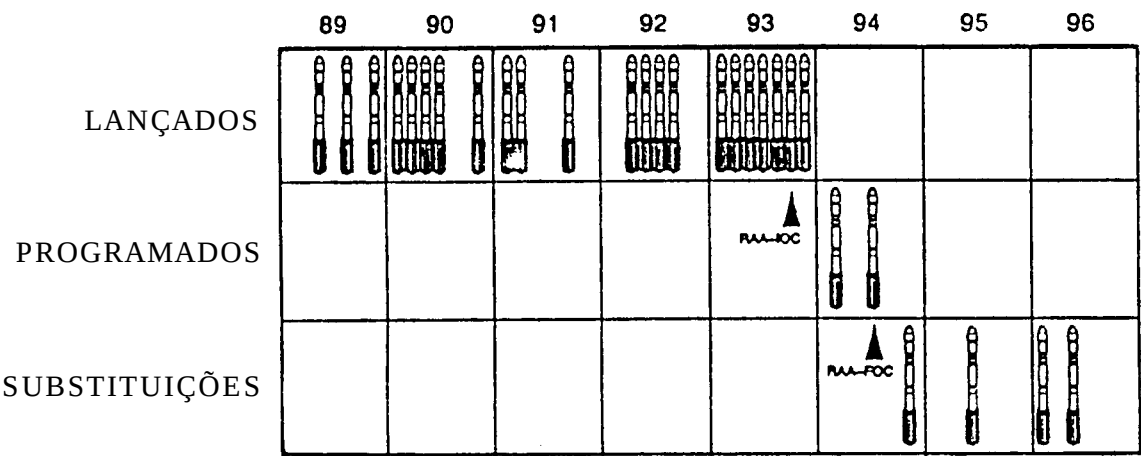


Figura 37.3a – Foguete Delta II (Desenvolvido para Lançamento dos Satélites GPS)



O programa de lançamento dos satélites definitivos do sistema GPS (BLOCK 2 e seus substitutos BLOCK 2A), iniciado em 1989, é apresentado na figura 37.4.

Figura 37.4 – Programa de Lançamento dos Satélites GPS



A energia elétrica para os satélites GPS é fornecida por grandes painéis solares, que ajudam a estabilizar o satélite em sua órbita, em conjunto com dispositivos de reação controlados por magnetos de alta potência. Além disso, os satélites são dotados de baterias, para operação nos períodos em que permanecem na sombra da Terra. Os satélites também dispõem de um suprimento limitado de propelente, para permitir manobras na órbita, ou entre órbitas. Como essas manobras só podem ser executadas com um gasto limitado de combustível, as mudanças de órbitas tendem a ser eventos longos, levando semanas ou meses. Durante estes períodos, o desempenho do satélite fica, muitas vezes, degradado.

As órbitas bastante elevadas utilizadas no GPS (@ 20.200 km) estão livres da atmosfera terrestre e seus efeitos. Isto significa que as previsões das órbitas dos satélites podem ser muito rigorosas. Embora o modelo matemático das órbitas seja muito preciso, os satélites GPS são constantemente acompanhados por estações de monitoramento. Esta é uma das razões pelas quais o GPS não usa órbitas geossíncronas. Como os satélites giram em torno da Terra em cerca de 12 horas, eles passam sobre as estações de monitoramento duas vezes por dia, o que proporciona oportunidade para medir precisamente sua posição, altitude e velocidade. As pequenas variações detectadas nas órbitas, denominadas de erros de efemérides, são causadas por atração gravitacional da Lua, ou do Sol, e pela pressão da radiação solar sobre o satélite. Estas variações orbitais são transmitidas para os satélites, que passam a considerá-las nas suas emissões.

Todos os satélites NAVSTAR GPS transmitem nas mesmas frequências (duas frequências na faixa de UHF, centradas em 1575,42 MHz e 1227,60 MHz, designadas, respectivamente, frequências L1 e L2), mas o sinal de cada satélite é transmitido com uma modulação diferente, sob a forma de código, que permite a perfeita identificação do satélite pelo receptor GPS.

Essas modulações em forma de código consistem de um CÓDIGO DE PRECISÃO (P CODE) e de um CÓDIGO DE AQUISIÇÃO INICIAL (C/A – “COARSE ACQUISITION CODE”), que proporcionam, respectivamente, o Serviço de Posicionamento Preciso (PPS – “PRECISE POSITIONING SERVICE”) e o Serviço de Posicionamento Padrão (SPS – “STANDARD POSITIONING SERVICE”). A portadora L1 contém ambas as modulações em código, enquanto a L2 contém somente o CÓDIGO P.

O uso de duas frequências, ambas múltiplas de uma frequência fundamental (10,23 MHz), permite que quaisquer perturbações na propagação, tais como os efeitos da refração introduzidos pela ionosfera, possam ser determinadas.

O CÓDIGO DE PRECISÃO e, conseqüentemente, o PPS, são acessíveis apenas para os usuários militares norte-americanos e os aliados da OTAN, além de outras agências governamentais dos EUA. O CÓDIGO C/A e o SPS são acessíveis para os demais usuários. Embora o CÓDIGO P seja mais preciso que o CÓDIGO C/A, a diferença de desempenho entre os dois é, na verdade, menos significativa do que os projetistas do sistema esperavam. Esta é a maior razão para a introdução da Degradação Intencional, ou Disponibilidade Seletiva (SA – “SELECTIVE AVAILABILITY”), adiante abordada.

Para determinação da posição, o receptor GPS mede as distâncias a diversos satélites do sistema. Tais distâncias são obtidas pela duração do trajeto (intervalo de tempo) do sinal de rádio entre os satélites e o receptor GPS. Esta é a razão do sistema ser denominado NAVSTAR (“NAVIGATION SYSTEM BY TIME AND RANGING”).

Além da medição das distâncias, é preciso, ainda, conhecer as posições dos satélites GPS, para poder determinar a posição do receptor. Esta informação é, também, transmitida

pelos satélites, como uma “mensagem de navegação”, que contém todos os dados orbitais necessários ao cálculo da posição do satélite no instante da medição da distância satélite–receptor, e as correções de tempo correspondentes ao satélite. Outras informações relativas ao desempenho do satélite e dados para modelagem dos efeitos ionosféricos também são incluídos na referida transmissão. Em conjunto, estas informações são conhecidas como as “**efemérides do satélite**”.

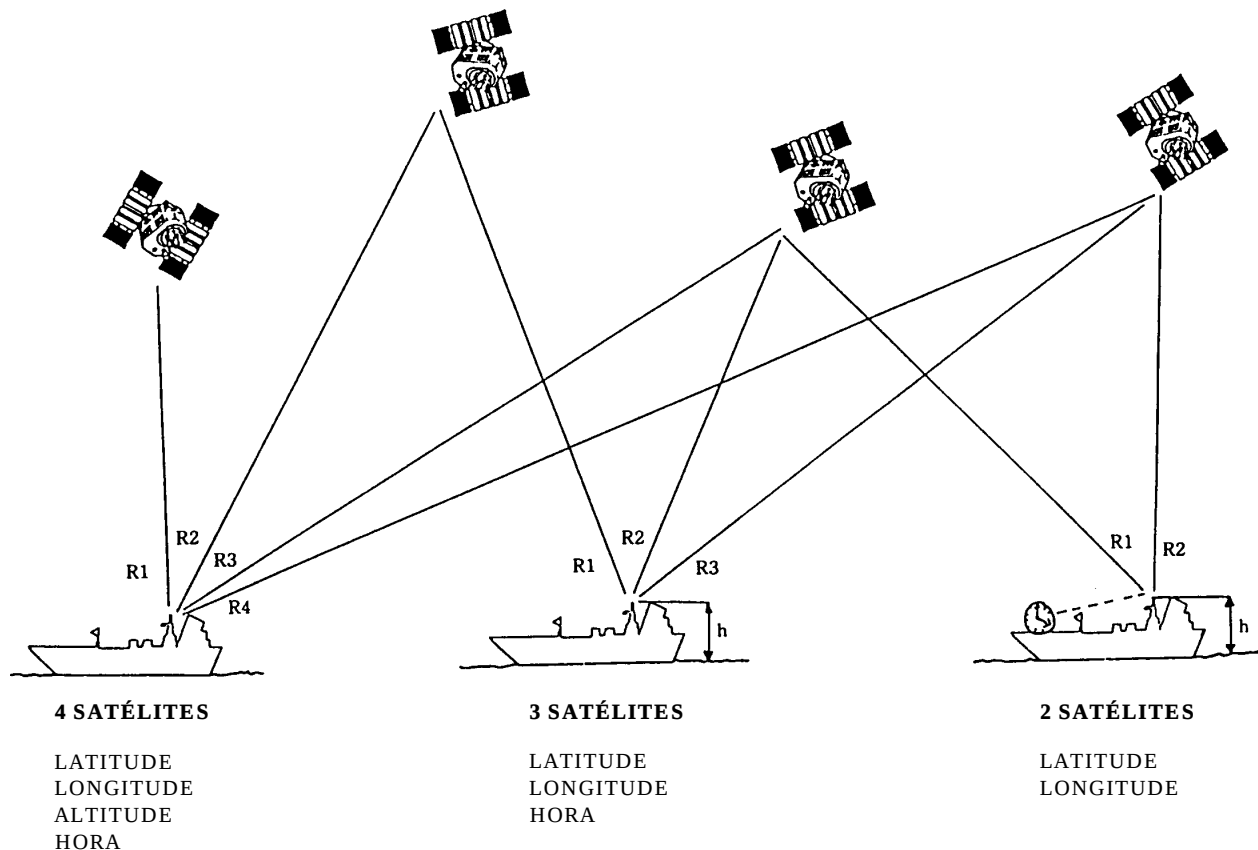
O segmento terrestre (“GROUND/CONTROL SEGMENT”), mostrado na figura 37.5, monitora e controla o sistema, mantém uma base comum de tempo para todos os satélites e provê dados precisos de suas posições no espaço, em qualquer instante.

Figura 37.5 – Segmento de Controle do Sistema GPS



Como nos sistemas de radionavegação baseados em terra (DECCA, LORAN-C, etc.), o GPS requer a obtenção de mais de uma distância para produzir uma posição na superfície da Terra. Se desejarmos uma posição tridimensional (Latitude, Longitude e altitude) e informação precisa de tempo, é necessário observar 4 satélites, para obtenção de 4 distâncias, o que permite calcular as 4 incógnitas (Latitude, Longitude, altitude e hora). Este número pode ser reduzido, resolvendo com antecedência algumas das incógnitas para o receptor.

Se a altitude é conhecida com precisão, como no caso de um navio, então restam apenas 3 incógnitas (Latitude, Longitude e hora), requerendo observações de apenas 3 satélites. Receptores de navegação mais sofisticados (possuindo um padrão atômico de frequência de rubídio), capazes de determinar a hora e sincronização independentemente, requerem apenas a observação de 2 satélites, para obtenção de 2 distâncias e determinação das 2 incógnitas que restam (Latitude e Longitude). As situações acima são ilustradas na figura 37.6.

Figura 37.6 – Número de Satélites GPS Necessários para Posicionamento

Além das 4 incógnitas anteriormente citadas (Latitude, Longitude, altitude e hora), o GPS, na navegação, fornece também o rumo e a velocidade no fundo, o rumo e a velocidade da corrente e outros elementos úteis ao navegante.

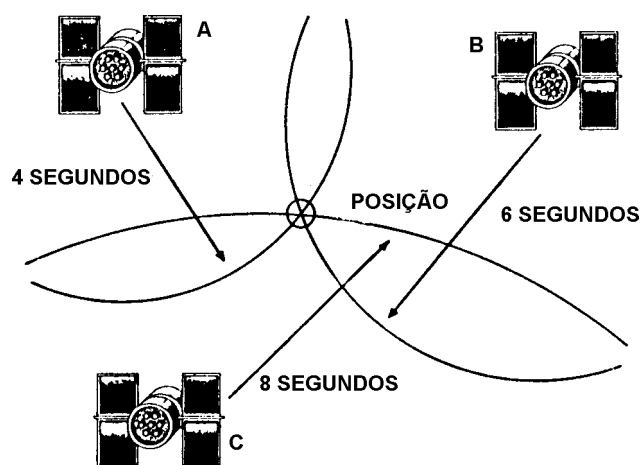
O segmento do usuário é constituído pelos receptores GPS e equipamentos associados, que, basicamente, determinam com precisão a distância do receptor para vários satélites (através da medição dos tempos de trajeto dos sinais transmitidos pelos satélites) e computam a posição do receptor e a hora exata da medição. As posições GPS são determinadas tendo como referência o sistema geodésico WGS-84 (“WORLD GEODETIC SYSTEM/1984”). Entretanto, a maioria dos receptores tem capacidade de calcular a mudança de datum (“DATUM SHIFT”) e apresentar a posição com referência a outros elipsóides e “data” locais.

37.2 DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO GPS

A posição GPS é baseada na medição de distâncias aos satélites do sistema. Os satélites GPS funcionam como pontos de referência no espaço, cuja posição é conhecida com precisão. Então, um receptor GPS (marítimo), com base na medição do intervalo de tempo decorrido entre a transmissão dos sinais pelos satélites e sua recepção a bordo, determina a sua distância a três satélites no espaço, usando tais distâncias como raios de três esferas, cada uma delas tendo um satélite como centro. A posição GPS será o ponto comum de interseção das três esferas com a superfície da Terra, conforme mostrado na figura 37.7 (em uma aeronave, o receptor GPS teria que medir, ainda, a distância a um quarto satélite, para determinar, também, a altitude).

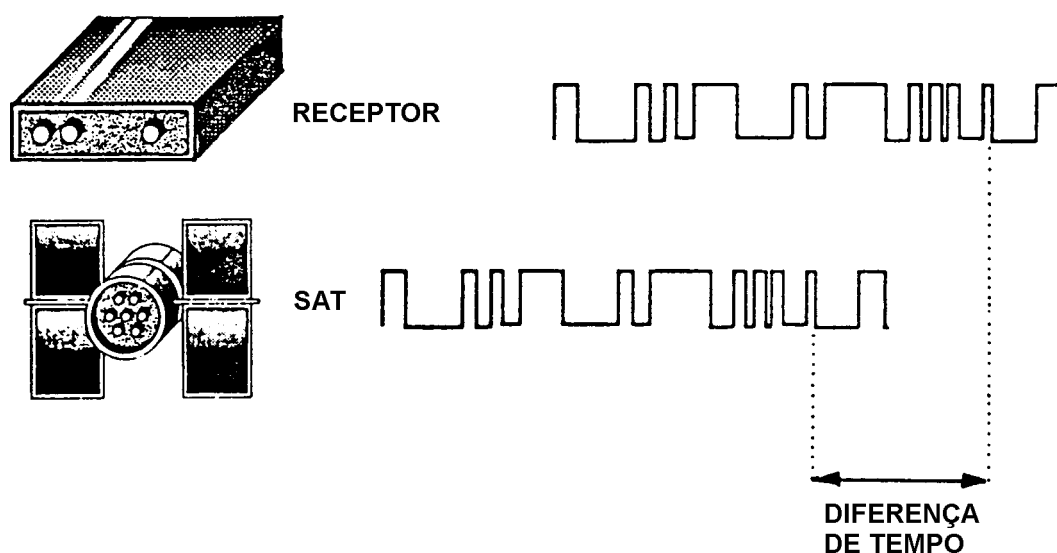
Na figura 37.7, a distância do receptor GPS ao satélite **A** foi determinada com base na medida do intervalo de tempo de 4 segundos entre a transmissão do sinal pelo satélite **A** e sua recepção a bordo. Medindo este tempo e conhecendo a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas (@ 300.000 km/s), o receptor calcula a distância ao satélite **A**. O mesmo é feito com relação aos satélites **B** e **C**. Determinadas as três distâncias, o receptor calcula a posição do navio na superfície da Terra e a hora exata correspondente. Os intervalos de tempo entre a emissão dos sinais pelos satélites e sua recepção são medidos pelos equipamentos GPS com precisão da ordem de 1 nanossegundo (0,000000001 segundo).

Figura 37.7 – Posição GPS



Entretanto, para determinar a duração do trajeto do sinal, o receptor GPS necessita conhecer exatamente o instante em que o sinal foi emitido pelo satélite, para poder medir a diferença de tempo entre a transmissão e a recepção. Então, o sistema GPS baseia-se no princípio de que o receptor e o satélite devem estar sincronizados, de modo que gerem o mesmo código exatamente no mesmo instante. Assim, basta ao equipamento, ao receber o código transmitido por um satélite, medir a diferença de tempo entre o instante de recepção e o instante em que o receptor gerou o mesmo código (figura 37.8).

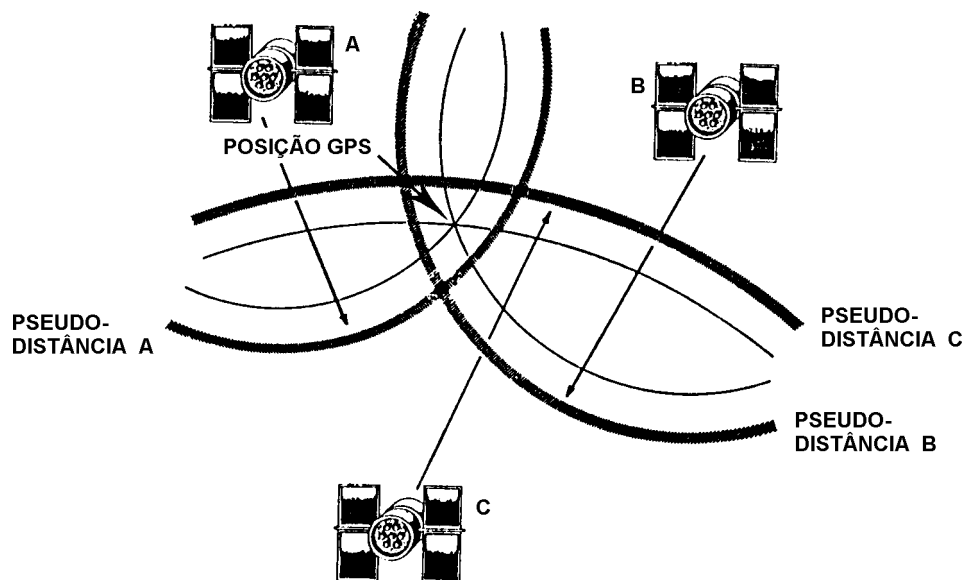
Figura 37.8 – Medida da Diferença de Tempo no Sistema GPS



Contudo, uma sincronização perfeita exigiria que tanto os satélites como os receptores GPS dispusessem de padrões atômicos de tempo. Os satélites dispõem desses padrões; porém, no caso dos receptores, tal componente os tornaria proibitivamente caros (cerca de US\$ 100,000 só pelo relógio atômico). Em vez disso, os receptores GPS, em sua maioria, empregam para referência de tempo um oscilador a cristal, que permite uma sincronização com boa aproximação entre ele e o satélite. Mas, com isso, fica introduzido um erro de tempo na medida da duração do trajeto entre a emissão e a recepção do sinal. Este fator, somado ao erro decorrente da variação da velocidade de propagação do sinal, resulta em um pequeno erro de distância, que é comum a todas as distâncias GPS medidas em um determinado momento. Então, as distâncias assim obtidas são denominadas de pseudo-distâncias (“pseudoranges”), ou distâncias aparentes, aos satélites.

Inicialmente, as pseudo-distâncias medidas para três satélites GPS não se cruzam em um ponto. Contudo, o computador do receptor ajusta as distâncias em incrementos iguais até que as LDP resultantes converjam em um único ponto, resolvendo, na realidade, três equações (uma para cada pseudo-distância) para três incógnitas (Latitude, Longitude e erro de tempo), produzindo uma estimativa de sua posição. Como próximo passo, o receptor considera seu próprio movimento durante o processo de aquisição e processamento dos sinais dos satélites. Isso é feito através da comparação das frequências dos sinais dos satélites com um sinal de referência que o receptor gera internamente. A partir do efeito Doppler, o receptor computa sua velocidade relativa para cada um dos satélites que está observando. Então, recalcula as três equações mencionadas, até que o cálculo produza um ponto (figura 37.9). Como vimos, um quarto satélite será necessário, se a altitude também tiver que ser determinada.

Figura 37.9 – Posição GPS por Pseudo-Distâncias



Além das distâncias aos três satélites, é necessário que o receptor GPS conheça, também, as posições precisas dos satélites, no instante da observação. Para isso, o sinal transmitido pelos satélites GPS tem duas partes:

- Um código digital, único para cada satélite, que o identifica; e
- superposto ao código, “uma mensagem de navegação” que contém informações atualizadas sobre a órbita do satélite (dados de efemérides), além de outros elementos.

Cada satélite GPS transmite continuamente em duas frequências, de modo que os receptores GPS possam determinar e eliminar os efeitos da refração ionosférica e atmosférica sobre o sinal, permitindo, assim, um cálculo mais preciso da velocidade de propagação e, conseqüentemente, das distâncias entre o receptor e os satélites. As frequências, de 1575,42 MHz e 1227,60 MHz, situam-se na banda L da faixa de UHF, sendo designadas, respectivamente, L1 e L2.

Ambos os sinais são modulados por “mensagens de navegação” de 30 segundos, transmitidas em 50 bps (bits por segundo). Os primeiros 18 segundos contêm os dados de efemérides para o satélite que transmite o sinal, definindo com precisão a sua posição, em função do tempo. Os outros 12 segundos contêm dados de “almanaque”, que definem as órbitas e as condições operacionais de todos os satélites do sistema. Os receptores GPS armazenam e usam os dados de efemérides para determinar a pseudo-distância ao satélite, e os dados de “almanaque” como auxílio para selecionar os 4 melhores satélites para emprego na obtenção da posição, em qualquer hora e lugar.

Os sinais L1 e L2 são, também, modulados por duas seqüências binárias adicionais, uma denominada Código C/A (“coarse/acquisition code”), para aquisição e navegação, e outra conhecida como Código P (“precision code”), para medições de precisão, após a aquisição e sincronização do sinal pelo receptor. A portadora L1 é modulada pelo Código C/A e pelo Código P; a portadora L2 apenas pelo Código P (ou Y). O Código P, como vimos, está disponível apenas para usuários autorizados, sendo decifrável somente por receptores que têm acesso às informações criptografadas contidas na mensagem de navegação do satélite.

37.3 PRECISÃO DO SISTEMA GPS

As principais fontes dos erros que afetam o sistema GPS são:

- Disponibilidade seletiva (“selective availability”);
- atrasos inosféricos e atmosféricos;
- erros nos relógios dos satélites GPS; e
- erros dos receptores.

Foi mencionado que o GPS oferece dois serviços de posicionamento. O Serviço de Posicionamento Preciso (PPS – “Precise Positioning Service”), proporcionado, basicamente, apenas às forças armadas dos EUA e de seus aliados da OTAN, e o Serviço Padrão de Posicionamento (SPS – “standard positioning service”), disponível para qualquer usuário, com um nível de precisão degradado. Por razões de segurança nacional, o DoD (“Department of Defense”) degrada a precisão do GPS, pela introdução de erros no relógio dos satélites e na mensagem de navegação. Em caso de emergência nacional, a degradação do nível de precisão pode ser elevada para além de 100 metros. A degradação intencional ou “disponibilidade seletiva” é, de longe, a maior fonte de erro do GPS padrão.

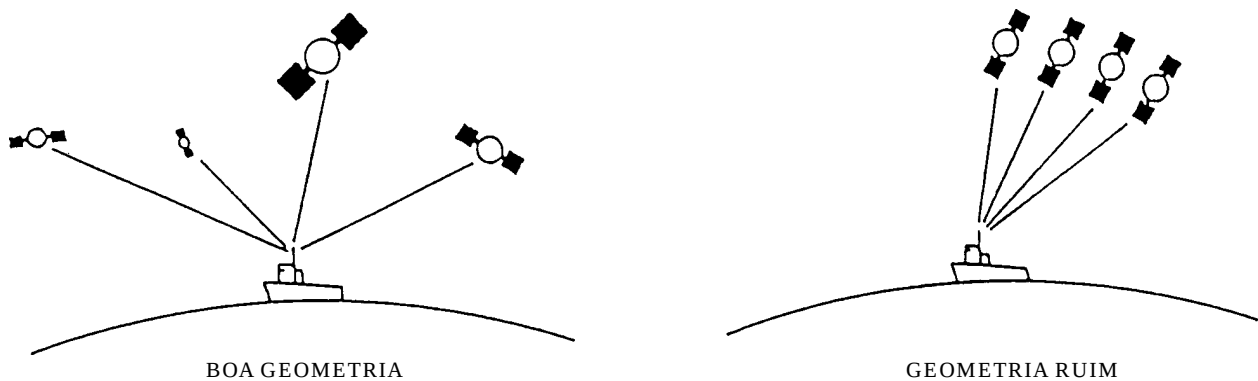
Na passagem pela ionosfera, que é composta de partículas eletricamente carregadas que refratam as ondas de rádio, o sinal do satélite é atrasado. Os receptores GPS mais avançados, capazes de receber as duas frequências emitidas pelos satélites, eliminam a maior parte desse erro. Além disso, a troposfera, que contém uma quantidade significativa de vapor d’água, também afeta os sinais GPS, de uma maneira quase impossível de corrigir. O efeito da troposfera, entretanto, é menor que o da ionosfera.

Embora os relógios atômicos dos satélites sejam todos sincronizados, muito precisos e constantemente monitorados, pequenas variações podem ocorrer, causando erros que podem afetar a exatidão do sistema.

Finalmente, existem, ainda, pequenos erros de medida e computação nos receptores GPS.

Ademais, a precisão de uma posição GPS depende, também, da geometria da situação, ou seja, da disposição geométrica dos satélites (figura 37.10). Para obter a posição com o maior rigor possível, o receptor GPS leva em conta um princípio da geometria denominado “Diluição Geométrica da Precisão” (GDOP – “Geometric Dilution of Precision”), que se refere ao fato de que a solução do problema de determinação da posição pode ser melhor ou pior, dependendo dos satélites utilizados nas medidas.

Figura 37.10 – Efeitos da Geometria na Precisão da Posição GPS



Todos os receptores GPS são projetados para selecionar uma configuração de satélites que proporcione a melhor geometria (melhores ângulos de corte entre as LDP). A geometria dos satélites é apresentada ao usuário por um fator de diluição da precisão da posição, conhecido como PDOP (“Positional Dilution of Precision”), que deve ser usado como um indicador da qualidade da informação obtida. Os fatores PDOP são números relativos; quanto menor o fator PDOP, melhor a precisão da posição. Inversamente, quanto maior o valor do fator, pior a qualidade da determinação correspondente (ou seja, maior a influência dos erros de observação nos resultados do posicionamento).

Ponderados fatores tais como a geometria da posição, os erros de propagação dos sinais e de sincronização dos relógios, pode-se afirmar que o Serviço de Posicionamento Preciso (PPS), acessível somente para usuários militares e outras agências governamentais dos EUA, é considerado como detentor de uma precisão da ordem de 12 a 15 metros (2 drms/95% de probabilidade).

O Serviço Padrão de Posicionamento (SPS), acessível aos demais utilizadores, com todos os erros acima mencionados e mais a Degradação Intencional, ou Disponibilidade Seletiva (SA – “SELECTIVE AVAILABILITY”), introduzida pelo “Department of Defense” dos EUA, apresenta uma precisão de 100 metros (95% de probabilidade).

É necessário, ainda, recordar que o sistema geodésico adotado para referência do GPS é o “World Geodetic System”, 1984 (WGS-84). Assim, para plotar uma posição GPS em uma Carta Náutica construída com base em outro “datum” e outro elipsóide de referência, pode ser preciso aplicar correções à Latitude e à Longitude fornecidas pelo equipamento,

principalmente se a carta for de escala muito grande. Tais correções, em geral, vêm indicadas nas próprias cartas. Na maioria dos casos, entretanto, são pequenas correções, sem maior interesse para o navegante. Além disso, o próprio receptor GPS pode ter capacidade de executar a mudança de “datum” (“datum shift”).

Da mesma forma, o GPS fornece resultados de altitude elipsoidal, o que torna obrigatório o uso de uma Carta de Altura Geoidal para a obtenção de altitudes referidas ao geóide (nível médio dos mares). Este problema, entretanto, normalmente não interessa ao navegante.

37.4 RECEPTORES GPS

A necessidade da medida de distâncias a quatro satélites para determinação de uma posição GPS tridimensional (Latitude, Longitude, altitude) causa um grande impacto no projeto dos receptores GPS. Uma regra básica que resulta disso é que, se forem desejadas posições contínuas, de elevada precisão, será necessário dispor de um receptor com, pelo menos, quatro canais. Ou seja, um aparelho que possa devotar um canal para cada um dos quatro satélites GPS sendo simultaneamente observados.

Muitas aplicações, entretanto, não requerem este grau de precisão. Nestes casos, um receptor monocanal mais econômico pode ser suficiente. Um receptor monocanal terá que executar as medidas de distâncias para os quatro diferentes satélites seqüencialmente, uma de cada vez, antes de poder calcular a posição. A operação total dura entre 2 e 30 segundos, o que, para a maioria das aplicações da navegação, representa uma rapidez suficiente. Contudo, infelizmente, este tipo de receptor não realiza um bom trabalho de monitoramento da velocidade, deixando de aproveitar de forma completa uma característica única do sistema GPS: a medição precisa de velocidades. Além disso, o movimento do receptor durante o ciclo de medidas de distâncias pode afetar a precisão da posição determinada. Outra desvantagem do receptor monocanal apresenta-se quando os satélites transmitem suas “mensagens de navegação”, ou “mensagens de dados do sistema”. Estas mensagens duram 30 segundos e, durante sua leitura, as medições e cálculos de posição são interrompidos. Assim, sempre que o equipamento adquire um novo satélite, há 30 segundos de interrupção da navegação.

Uma boa solução de compromisso consiste de um receptor GPS de três canais, com o qual se obtém uma atualização contínua da posição. Um benefício adicional é que o equipamento de três canais pode ser programado para acompanhar até 8 satélites, de modo que, quando um satélite está bloqueado, outro pode substituí-lo instantaneamente, sem qualquer interrupção no processo de navegação.

Os receptores multicanal, de 4 ou mais canais, proporcionam maior precisão, através da medida simultânea de 4 ou mais distâncias, a diferentes satélites. Além disso, atualizam os dados de posição, rumo e velocidade no fundo a cada segundo de tempo, após um intervalo de tempo para carregamento dos dados iniciais (“almanaque”).

Para que um receptor GPS possa operar, é necessário que tenha em sua memória todas as informações sobre os satélites. Tais informações são chamadas de “almanaque” e são memorizadas logo no início da operação do equipamento. A partir do momento em que um receptor capta um satélite, o tempo mínimo para o estabelecimento de um “almanaque” é de cerca de 15 minutos. Um “almanaque” completo é constituído de 5 tramas de duração unitária de 6 segundos, ou seja, um total de 30 segundos por “almanaque”. O sistema prevê a difusão de 25 almanaques diferentes, isto é, 25 mensagens completas, o que significa

25 x 30 segundos = 12^m 30^s, que é o tempo geral de aquisição. A partir daí, cada vez que um receptor capta um satélite ele consulta seu “almanaque” e calcula imediatamente a posição deste satélite. Assim, quanto mais recente for o “almanaque” tanto menor será o tempo necessário para a obtenção de uma posição. Desde que o aparelho esteja seguidamente em operação, ele estará “consultando”, também continuamente, o “almanaque”.

A intensidade dos sinais necessária para que um receptor adquira (ou readquira) os satélites é cerca de cinco vezes maior que a intensidade do sinal necessária para que o receptor acompanhe os satélites e leia suas mensagens. Os sinais oriundos de satélites a uma baixa elevação estarão enfraquecidos quando, obrigatoriamente, demorarem mais a passar através da atmosfera terrestre. Também, um acompanhamento do sinal de um satélite por um receptor poderá ser interrompido, se o trajeto satélite-antena do receptor ficar momentaneamente encoberto por mastros, superestruturas, etc.

Assim, a antena de um receptor GPS fixo deve ser instalada a bordo em um local livre de obstáculos e a operação de um receptor GPS portátil (“hand held”), tal como o mostrado na figura 37.11, deve ser feita de uma posição livre de interferências, com 360° de visão em torno do horizonte, a fim de garantir que os sinais dos satélites não estejam bloqueados.

Figura 37.11 – Receptor GPS Portátil Magellan NAV DLX-10 (10 Canais)



O preço dos receptores GPS vem caindo, desde o seu lançamento, quando custavam cerca de US\$ 25,000.00, até hoje, quando já se acham bons equipamentos, inclusive multicanal, com várias capacidades adicionais, além do simples posicionamento (figura 37.12), por preço da ordem de US\$ 1,000.00. Há receptores portáteis, mais simples, cujo custo já rompeu a barreira dos US\$ 200.00, situando-se na faixa de 150 a 180 dólares.

Os receptores GPS estão disponíveis tanto em versões portáteis quanto em versões fixas. Os equipamentos portáteis, usados na navegação, principalmente em embarcações de esporte, recreio e pesca, são projetados para serem manuseados e operados independentemente, com a antena embutida ou projetando-se do próprio aparelho. Alguns equipamentos por-

Figura 37.12 – Receptor GPS Magellan NAV 6500 Chartplotter (10 Canais) com Plotagem em Carta Digitalizada e Outras Capacidades

táteis podem, também, ser montados em um suporte fixo e usar uma antena externa a eles conectada. Na seleção de um receptor GPS, fixo ou portátil, para uma embarcação de esporte, recreio ou pesca, onde a disponibilidade de energia elétrica é, quase sempre, muito limitada, o consumo de potência deve ser um importante fator a ser levado em conta.

Os Receptores GPS podem oferecer ao navegante muito mais do que a simples capacidade de determinar sua posição geográfica (Latitude e Longitude) e



a hora, com um elevado grau de precisão. Além da possibilidade, já mencionada, de determinação contínua do rumo e da velocidade no fundo, inerente a todos os receptores GPS, podem-se citar, como exemplo, as seguintes capacidades adicionais:

Figura 37.13 – Receptor GPS Garmin NAP 220, com Monitor Colorido



- Plotagem da posição em tempo real, sobre Carta Náutica digitalizada, apresentada em monitor colorido, de elevado grau de contraste e resolução (figura 37.13);

- interface com a agulha e o odômetro;

- cálculo do rumo e da velocidade da corrente e dos seus efeitos sobre a derrota (abatimento, caimento e avanço, ou atraso);

- armazenamento na memória de centenas de pontos de derrota (“waypoints”) e de dezenas de derrotas de pernadas múltiplas reversíveis;

- cálculo do rumo, velocidade e duração do trajeto para o próximo ponto da derrota;

- cálculo do ETA (“estimated time of arrival”) nos diversos pontos da derrota e no ponto de destino;

- memorização da posição instantânea da embarcação a qualquer momento, pelo simples pressionar de um botão (tal característica poderá ser extremamente valiosa em uma situação de homem ao mar);

- interface do receptor GPS com o piloto automático, de modo a conduzir a embarcação para um determinado ponto da derrota, ou ao longo de uma derrota planejada;

- capacidade de interface com radar e/ou ecobatímetro;

- capacidade de executar serviço de vigilância de fundeio (“anchor watch”), com o estabelecimento do círculo de giro da embarcação (com raio igual ao comprimento do navio somado ao filame, ou comprimento da amarra) em torno do ponto de fundeio e o disparo de um alarme caso a embarcação tenda a garrar, saindo do referido círculo;

- capacidade de acompanhar até 12 satélites para fornecer informações contínuas, atualizadas a cada segundo de tempo;

- capacidade de operação no modo GPS Diferencial (DGPS), que será adiante explicado;

- apresentação das posições em coordenadas geográficas (Latitude e Longitude), grade quilométrica UTM (N e E) e outros sistemas;

- capacidade de mudança de “datum” (“datum shift”) e apresentação da posição com referência a outros elipsóides e “data” locais, além do WGS-84; e

- capacidade de realizar outros cálculos úteis à navegação, tais como determinação da hora do nascer e do pôr-do-Sol e da fase lunar.

Alguns receptores, denominados de híbridos, combinam o GPS com outro sistema de posicionamento, em especial o LORAN-C. Na figura 37.14 é mostrado um receptor integrado GPS/LORAN-C, capaz de processar as informações de ambos os sistemas e proporcionar redundância e maior segurança à navegação.

Figura 37.14 – Receptor Integrado GPS/LORAN-C

A operação de um receptor GPS é, normalmente, bastante simples. Deve ser consultado o manual do equipamento, que fornecerá as informações necessárias para possibilitar o domínio sobre os controles do aparelho e a interpretação dos dados apresentados no mostrador. O teclado, para introdução de dados e comando das diferentes funções, é, em geral, de fácil manuseio e compreensão, da mesma forma que a apresentação em tela das informações de posição, hora, rumo, velocidade, etc.

37.5 GPS DIFERENCIAL (DGPS)

A Técnica Diferencial aplicada ao GPS (“Global Positioning System”) foi desenvolvida para obter maior precisão de posicionamento do SPS (“STANDARD POSITIONING SERVICE”) do Sistema GPS. A Técnica Diferencial corrige não só a **degradação intencional** da precisão do GPS pelo Ministério da Defesa dos EUA (“Disponibilidade Seletiva”), mas também as **influências incontrolláveis**, como as condições de propagação ionosféricas e atmosféricas, os erros de sincronização dos relógios e as irregularidades nas órbitas dos satélites. Esta técnica torna a precisão de posicionamento do GPS, acessível a qualquer usuário, melhor que 10 metros.

O GPS Diferencial (DGPS) proporciona maior precisão de posicionamento pela possibilidade de correção dos erros que afetam o Sistema GPS, cujas fontes principais são, como vimos:

- Disponibilidade Seletiva (“Selective Availability”);
- refração ionosférica e atmosférica; e
- erros nos relógios dos satélites.

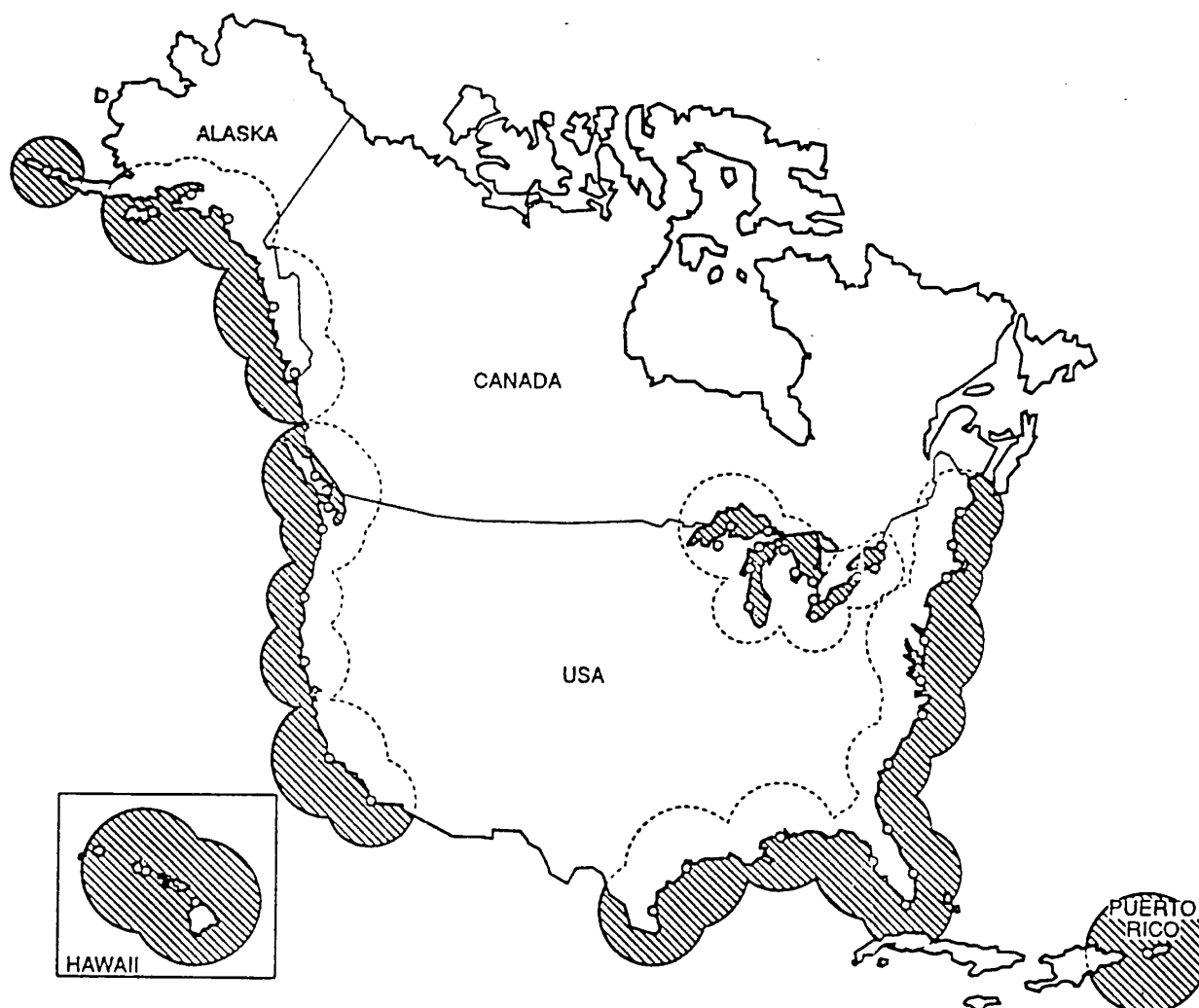
O conceito Diferencial é anterior ao sistema GPS, tendo sido originalmente aplicado aos Sistemas Eletrônicos de Navegação Baseados em Terra, como o Omega.

A aplicação da Técnica Diferencial ao GPS foi um desenvolvimento lógico na evolução da navegação GPS. Na década passada, a Guarda Costeira dos Estados Unidos (“U.S. Coast Guard”) começou a investigar técnicas para melhorar a precisão do GPS de uso

civil, a fim de que esse sistema pudesse alcançar as especificações para navegação marítima do Plano Federal de Radionavegação dos EUA (“Federal Radionavigation Plan”). Este plano especifica uma precisão de posição de 8 a 20 metros (2 drms), com 99,7% de disponibilidade, para navegação de aproximação e navegação em águas restritas (interior de portos, baías, etc.). O GPS padrão (“STANDARD GPS”) não oferece a precisão e a integridade necessárias para preencher este requisito.

A “U. S. Coast Guard” começou a testar o GPS Diferencial (DGPS) em 1985. Testes exaustivos confirmaram que o DGPS preenche os requisitos do “Federal Radionavigation Plan”. Após isso, foram liberados os recursos para implementar um Sistema de Posicionamento DGPS para navegação marítima, utilizando a transmissão dos Radiofaróis, cobrindo toda a costa dos Estados Unidos (incluindo o Alasca, Havaí e Porto Rico) e os Grandes Lagos, além da costa Oeste do Canadá. A rede DGPS norte-americana prevê estações de referência instaladas em 45 Radiofaróis Marítimos operados pela Guarda Costeira e em 2 Radiofaróis canadenses situados na Colúmbia Britânica (figura 37.15). Várias das estações previstas já estão operando em caráter definitivo.

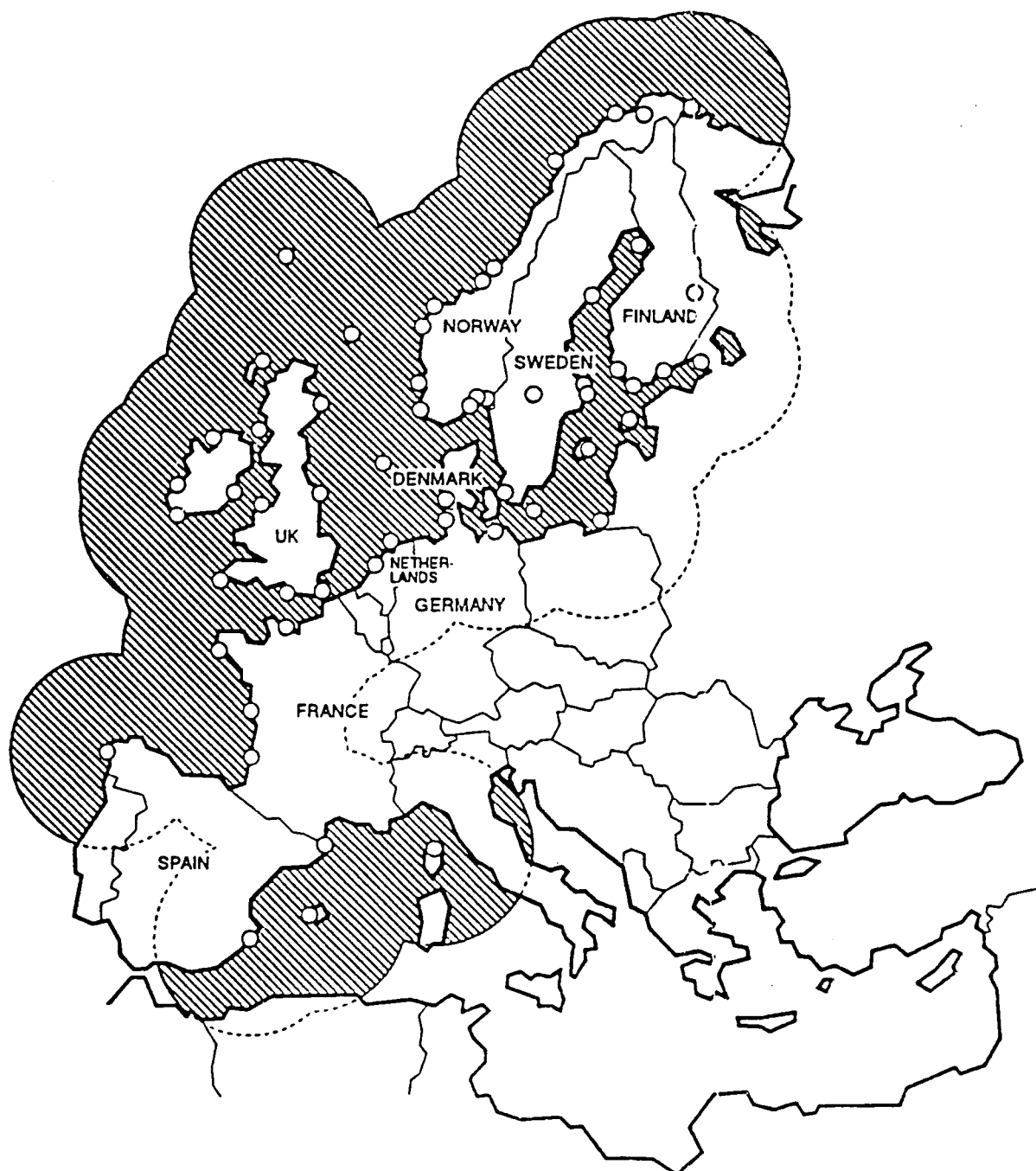
Figura 37.15 – Cobertura DGPS Empregando a Transmissão dos Radiofaróis em Implantação nos Estados Unidos



Posteriormente, tanto a IALA (Associação Internacional de Sinalização Náutica), como a IMO (Organização Marítima Internacional), endossaram o uso do DGPS, por seu potencial no incremento da segurança da navegação. Ademais, ambas as Organizações aprovaram o uso dos RADIOFARÓIS (“MARINE RADIO BEACONS”) para transmissão dos dados de correção DGPS.

Na Europa, diversos países do Mediterrâneo, da Europa do Norte e da Escandinávia planejam implementar uma rede de Estações DGPS utilizando a transmissão dos Radiofaróis Marítimos existentes, sendo que vários já têm, no presente, Estações DGPS em operação. A cobertura DGPS proposta está mostrada na figura 37.16.

Figura 37.16 – Cobertura DGPS Empregando a Transmissão dos Radiofaróis Planejada para a Europa

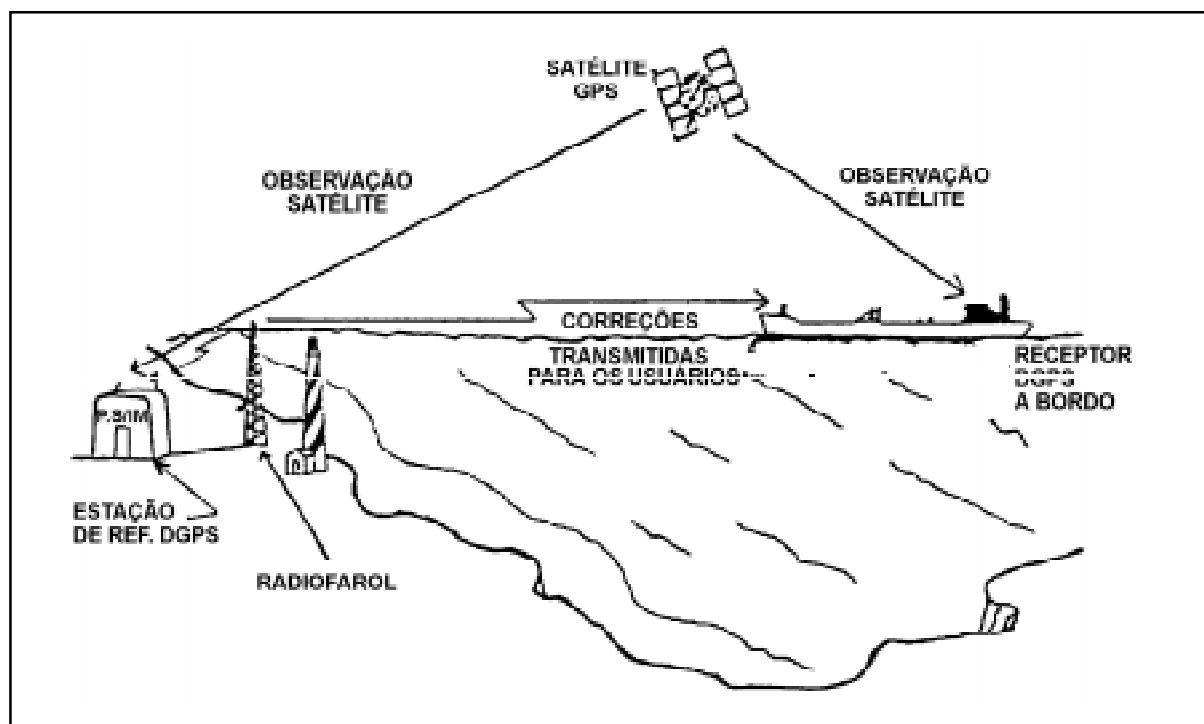


37.6 COMPONENTES DO DGPS. CONCEITO DE OPERAÇÃO

A navegação DGPS em tempo real requer três componentes principais (figura 37.17):

- Estação de Referência DGPS;
- “link” de comunicações (para correção DGPS); e
- receptor DGPS a bordo do navio ou embarcação.

Figura 37.17 – Navegação DGPS em Tempo Real. Componentes do Sistema



O conceito de operação utilizado é o de posicionamento relativo. As observações simultâneas dos mesmos satélites por duas estações (Estação de Referência DGPS e navio) proporcionam a minimização ou, até mesmo, a eliminação dos efeitos de alguns erros sistemáticos que incidem de forma semelhante em ambas as estações (erros das órbitas dos satélites, refração troposférica e ionosférica, erros nos relógios dos satélites, etc.).

A Estação de Referência DGPS é instalada em um ponto de coordenadas geográficas conhecidas com precisão, normalmente um Radiofarol para navegação marítima. Em operação, o receptor GPS da Estação de Referência calcula a distância real de sua posição conhecida para cada satélite sendo observado, isto é, determina o valor da distância de sua posição cartesiana (X, Y, Z) para a posição cartesiana dos satélites (X_1, Y_1, Z_1). Ao

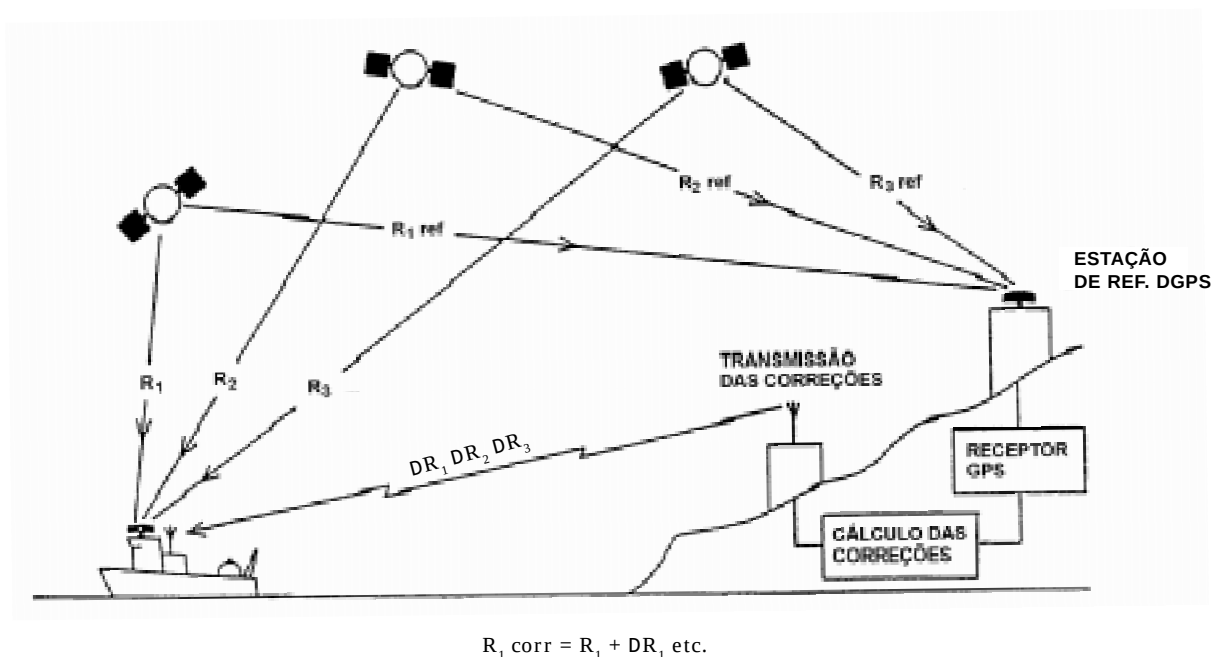
mesmo tempo, o receptor GPS mede as distâncias para os satélites que estão sendo acompanhados e computa as diferenças entre as distâncias calculadas e as distâncias medidas, obtendo correções na medida da distância para cada satélite.

Estas correções são transmitidas pelo “link” de comunicações para os receptores DGPS instalados a bordo dos navios/embarcações que trafegam na área. Na navegação marítima, utiliza-se a portadora do sinal dos RADIOFARÓIS MARÍTIMOS para, sem qualquer prejuízo da radiogoniometria, transmitir as correções DGPS para os navios nas águas vizinhas. Para computar os dados de correção, o navio necessita de um equipamento especial para receber o sinal transmitido, demodular os dados de correção e injetá-los no receptor DGPS de bordo.

O receptor DGPS, então, incorpora os dados de correção na solução GPS, ao mesmo tempo em que computa os dados dos satélites, permitindo medidas muito mais precisas de posição, rumo e velocidade. A Técnica Diferencial aplicada ao Sistema GPS aumenta a precisão de posição para um valor melhor que 10 metros e permite medidas de velocidades com precisão de 0,1 nó, aperfeiçoando, desta forma, a eficiência e a segurança da navegação marítima.

Na figura 37.18, por exemplo, o receptor GPS na Estação de Referência DGPS mede as distâncias aos três satélites que estão sendo acompanhados e determina os valores de R_{1ref} , R_{2ref} e R_{3ref} . Ao mesmo tempo, compara estes valores com as distâncias calculadas aos três satélites e obtém as correções DR_1 , DR_2 e DR_3 . Tais correções são transmitidas pelo “link” de comunicações da estação. A bordo do navio, o receptor DGPS mede as distâncias aos três satélites, obtendo os valores R_1 , R_2 e R_3 . Ao mesmo tempo, recebe as correções transmitidas pela Estação de Referência DGPS e calcula as distâncias corretas aos satélites: $R_{1corr} = R_1 + DR_1$, etc. A posição GPS é, então, calculada com os valores corretos de distâncias, o que proporciona uma precisão muito melhor.

Figura 37.18 – GPS Diferencial (Correções DGPS)



Para navegação marítima, a IALA e a IMO endossaram o uso dos Radiofaróis para transmissão dos dados de correções DGPS. Há numerosas vantagens derivadas do uso dos Radiofaróis Marítimos:

- O alcance dos RF é consistente com o alcance preciso dos dados do DGPS (até cerca de 200–250 milhas da Estação de Referência);
- a rede de Radiofaróis provê uma cobertura costeira efetiva;
- os regulamentos internacionais de radiodifusão protegem a faixa de frequências usadas pelos Radiofaróis Marítimos (283,5 kHz a 325 kHz), em todo o mundo;
- a propagação nesta faixa de frequências é, predominantemente, de onda terrestre, com um alcance utilizável da mesma ordem de magnitude da validade das correções DGPS;
- os regulamentos internacionais de radiodifusão permitem que os Radiofaróis transmitam informações suplementares de navegação (nas quais se incluem as correções DGPS);
- os equipamentos de transmissão dos RF (NDB) são confiáveis e relativamente baratos;
- a bordo dos navios, o “link” necessário para receber as correções DGPS pode ser utilizado em todo o mundo (pois os Radiofaróis Marítimos de todos os países operam na mesma faixa de frequências); isto permite um padrão mundial de transmissão de GPS Diferencial, a ser introduzido de maneira eficiente e econômica;
- a transmissão das correções DGPS pela portadora do sinal dos Radiofaróis cumpre recomendação da IALA, que dispõe que as transmissões DGPS não devem ser codificadas, a fim de que qualquer usuário possa ter acesso ao sistema; e
- a Estação de Referência DGPS utiliza toda a infra-estrutura já existente para operar e manter o Radiofarol.

No padrão IALA, as correções DGPS no formato RTCM SC-104 são transmitidas pela portadora do sinal do NDB (“NON-DIRECTIONAL BEACON” ou RADIOFAROL CIRCULAR), sem qualquer prejuízo da radiogoniometria, usando modulação MSK (“Minimum Shift Keying”). O emprego pela Guarda Costeira dos EUA e por outras agências demonstrou o sucesso da modulação MSK para transmissão das correções através dos sinais do Radiofarol. Hoje, diversos fabricantes oferecem receptores (NAVBEACON) capazes de decodificar o sinal MSK e transformá-lo em dados RTCM SC-104, compatíveis com o equipamento DGPS. Em muitos deles, o receptor das correções já está embutido no próprio equipamento DGPS.

O Brasil dispõe, desde 1993, de Estações DGPS operando de forma definitiva, tendo sido a primeira instalada no Radiofarol São Marcos, no Maranhão, para aumentar a segurança da navegação no difícil canal de acesso ao terminal da Ponta da Madeira e ao porto de Itaqui. Hoje, já foram instaladas Estações de Referência do GPS Diferencial (ERDGPS) nos Radiofaróis Canivete (AP), São Marcos (MA), Calcanhar (RN), Sergipe (SE), Abrolhos (BA), São Tomé (RJ), Rasa (RJ), Moela (SP), Santa Marta (SC) e Rio Grande (RS). As ERDGPS permitem a cobertura com correções DGPS numa área com raio de cerca de 200 milhas náuticas em torno dos Radiofaróis onde estão instaladas. Assim, a rede DGPS da costa do Brasil proporciona a cobertura mostrada nas figuras 37.19 e 37.19a.

Figura 37.19 – Cobertura da Rede DGPS da Costa do Brasil

(NÃO REPRESENTADA A COBERTURA TERRESTRE)

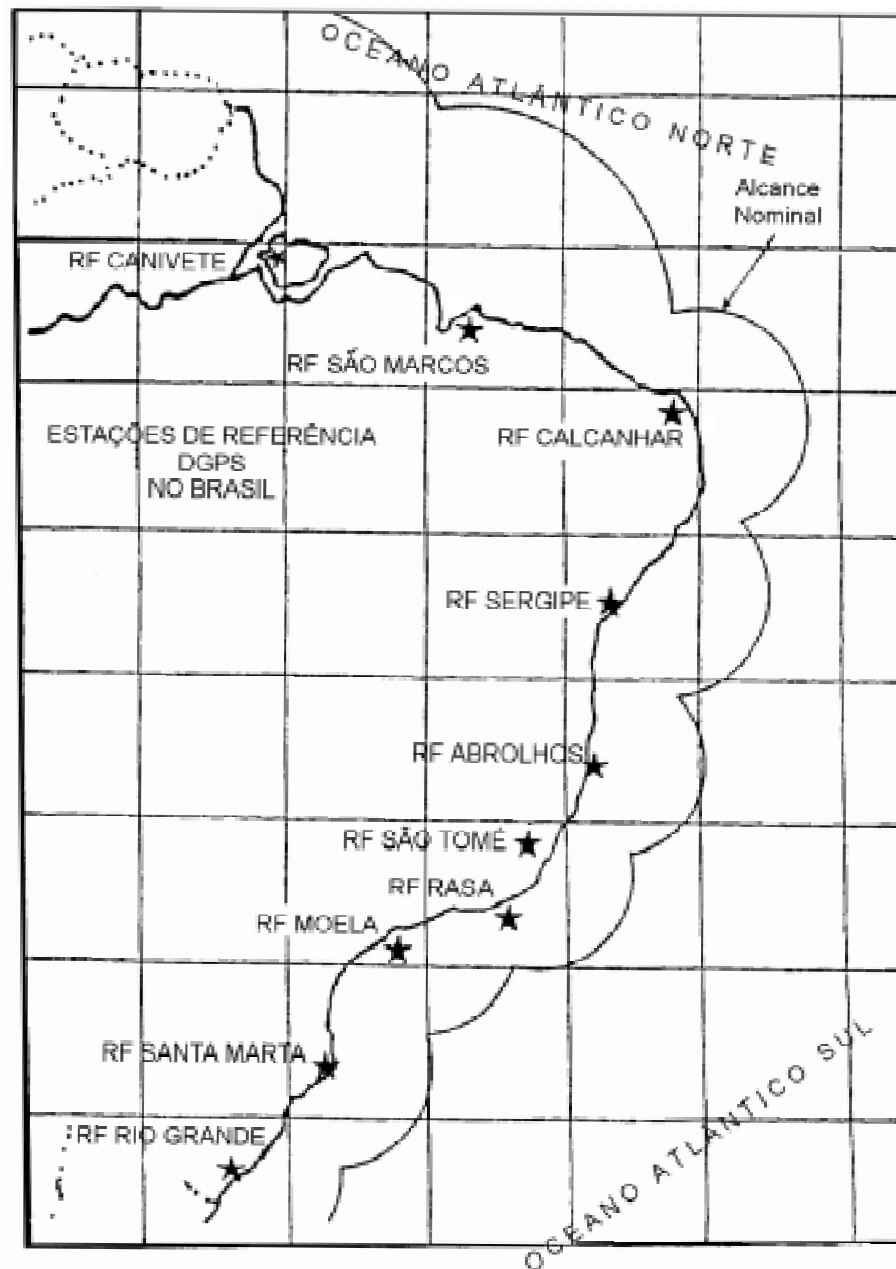


Figura 37.19a – Rede DGPS da Costa do Brasil

Tabela atualizada até 29/02/2000

Nome da Estação	Código de Identificação Internacional	Posição Geográfica (WGS-84) Lat/Long/Altura	Alcance Nominal (km) para 320µV/m	Alcance Nominal (km) para 20µV/m	Início da Fase Operacional	Frequência da Portadora do Rádiofarol	Taxa de Transmissão (bps)	Mensagens RTCM -104 Transmitidas
CANIVETE	0463	00° 30.5267635'N 050° 24.8354430'W -15.168 m	300		1995	310	100	1, 2, 3, 6, 16
SÃO MARCOS	0460	02° 29.337'S 044° 18.086' W	300		1994	300	100	1, 2, 3, 6, 16
CALCANHAR	0467	05° 09.6135500'S 035° 29.2528500'W +14.740 m		370	1995	305	100	1, 2, 3, 6, 16
SERGIPE	0468	10° 58' 10.66857"S 037° 02' 11.10094"W +02.361 m		370	1997	320	100	1, 2, 3, 6, 16
ABROLHOS	0461	17° 57' 53.03421"S 038° 41' 38.20116"W +32.089 m		370	1995	290	100	1, 2, 3, 6, 16
SÃO TOMÉ	0465	22° 02.5149000'S 041° 03.1575500'W +01.084 m		370	1996	300	100	1, 2, 3, 6, 16
RASA	0469	23° 03.8063936'S 043° 08.7508291'W +67.222 m		370	1998	315	100	1, 2, 3, 6, 16
MOELA	0462	24° 02' 51.58748"S 046° 15' 48.20793"W +37.814 m		370	1996	305	100	1, 2, 3, 6, 16
SANTA MARTA	0466	28° 36.2692411'S 048° 48.8345140'W +57.199 m		370	1997	310	100	1, 2, 3, 6, 16
RIO GRANDE	0464	32° 08' 55.25713"S 052° 06' 11.84774"W +02.600 m		370	1996	290	100	1, 2, 3, 6, 16

OBSERVAÇÕES:

1. As coordenadas tabeladas estão registradas nos aparelhos. Devido às diferenças de configuração, algumas apresentam-se em graus, minutos e segundos e outras em graus e minutos.
2. As estações não possuem ainda monitoramento de integridade, mas seu uso extensivo permite assumi-las como plenamente operacionais.
3. As coordenadas da ERDGPS SÃO MARCOS ainda estão referenciadas ao Datum CÔRREGO ALEGRE. A CVRD, proprietária da estação, está em vias de re-determinar, corrigir e informar os novos valores em WGS-84. Recomenda-se cautela aos usuários desta estação.
4. Os alcances nominais indicados são os necessários para radiogoniometria. Levantamentos pontuais constatarão que os sinais DGPS de nossas estações chegam a mais de 700 km da costa, em média. A esta distância, a degradação da acurácia deve chegar a 1, 4 m (2 ppm da distância) além dos 9 metros (99% dos casos) previstos como acurácia básica do sistema. Outro fator que contribui para a perda da qualidade é o fato de que certos satélites podem estar visíveis para a estação de referência e invisíveis para o usuário (e vice-versa). Nesses casos, a quantidade de satélites corrigidos pela ERDGPS pode não ser suficiente para que o usuário se beneficie dos dados diferenciais na sua navegação.

37.7 PRECISÃO, POSSIBILIDADES E APLICAÇÕES DO GPS DIFERENCIAL (DGPS)

A precisão do DGPS depende do afastamento fixo–móvel, ou seja, depende da distância entre o navio e a estação de referência DGPS.

A U. S. Coast Guard estudou com detalhes todas as possibilidades e limitações do sistema GPS e produziu o quadro abaixo (incluído no Plano Federal de Radionavegação dos EUA):

SERVIÇOS GPS	REQUISITOS	NAVEGAÇÃO DE APROXIMAÇÃO E EM ÁGUAS RESTRITAS	SERVIÇOS DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA E CONTROLE DE TRÁFEGO DE PORTO	OPERÇÕES DE DRAGAGEM	LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS, OCEANOGRÁFICOS E GEOFÍSICOS
	PRECISÃO (metros, 2 drms)	8 – 20	10	6	15
SERVIÇO PADRÃO DE POSICIONAMENTO COM DEGRADAÇÃO (SPS WITH S/A)	100	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ
SERVIÇO PADRÃO DE POSICIONAMENTO SEM DEGRADAÇÃO (SPS WITHOUT S/A)	30	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ
SERVIÇO DE POSICIONAMENTO PRECISO (PPS)	15 – 21	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ	NÃO SATISFAZ
GPS DIFERENCIAL (DGPS)	3	SIM (SATISFAZ)	SIM (SATISFAZ)	SIM (SATISFAZ)	SIM (SATISFAZ)

Então, conclui-se que:

– Mesmo o Serviço de Posicionamento Preciso (PPS – “PRECISE POSITIONING SERVICE”) do GPS, disponível apenas para os utilizadores militares dos EUA/aliados da OTAN e agências governamentais autorizadas, não proporciona precisão suficiente para ser usado em navegação de aproximação e navegação em águas restritas, nem para emprego em atividades de sinalização náutica, dragagem ou levantamentos hidrográficos, oceanográficos e geofísicos.

– Como é óbvio, o Serviço Padrão de Posicionamento (SPS – “STANDARD POSITIONING SERVICE”), com ou sem a Degradação Intencional, ou Disponibilidade Seletiva (SA – “SELECTIVE AVAILABILITY”), também não proporciona precisão suficiente para uso nas atividades acima citadas.

– Contudo, o DGPS, com uma precisão de posicionamento da ordem de 3 metros (2 drms, ou 95% de probabilidade), para distâncias até 200–250 milhas da estação de referência, tem precisão suficiente para utilização em:

- navegação de aproximação e navegação em águas restritas (no interior de portos, baías, enseadas e canais);
- atividades de sinalização náutica (posicionamento de sinais fixos e flutuantes e verificação periódica da posição de sinais flutuantes);

- posicionamento em operação de dragagem e outras atividades no mar que exijam grande precisão (inclusive operações com plataformas de exploração e exploração de petróleo no mar); e
- posicionamento de navios de pesquisa em levantamentos hidrográficos, oceanográficos e geofísicos, em áreas costeiras ou “offshore”.

37.8 OBSERVAÇÕES FINAIS SOBRE O SISTEMA GPS

O sistema GPS, por sua integridade, disponibilidade e precisão, tornou obsoletos praticamente todos os outros sistemas de Navegação Eletrônica de médio e longo alcances, inclusive seu antecessor na navegação por satélites (o sistema TRANSIT). Suas vantagens e possibilidades são imensas, especialmente com a aplicação da Técnica Diferencial (DGPS).

Além das aplicações na navegação oceânica e na navegação costeira, ou, sob a forma Diferencial (DGPS), na navegação em águas restritas (no acesso e no interior de portos, baías e canais); em operações de sinalização náutica, controle de tráfego de porto e dragagem; e em levantamentos hidrográficos, oceanográficos e geofísicos, o sistema tem, ainda, outros importantes empregos, como em fainas de homem ao mar e em operações de socorro, busca e salvamento.

Entretanto, não se deve esquecer que o GPS está sob total controle estrangeiro e, até mesmo sob a forma Diferencial (DGPS), pode ter sua precisão degradada intencionalmente, sem que nada possamos fazer.

Embora a IMO (Organização Marítima Internacional) e a IALA (Associação Internacional de Sinalização Náutica) estejam estudando a implantação de um sistema global de navegação por satélites de controle civil internacional (preliminarmente designado GNSS – “GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM”), cujos componentes seriam compatíveis com os atuais GPS americano e GLONASS (sistema russo de navegação por satélites semelhante ao GPS), o navegante prudente, mesmo assim, não deve confiar apenas nessas fontes para determinar sua posição e dirigir e controlar os movimentos de seu navio, ou embarcação. Além disso, para aqueles equipamentos GPS que incorporam cartas náuticas digitilizadas e “plotters”, não se deve esquecer que tais cartas são disponibilizadas em cartuchos tipo “caixa preta”, que não podem ser atualizados por Avisos aos Navegantes, que divulgam as alterações ocorridas afetando a segurança da navegação. Desta forma, as posições GPS têm que ser periodicamente plotadas em Cartas Náuticas atualizadas, onde a navegação deve, realmente, ser conduzida.

37.9 GLOSSÁRIO DE TERMOS ASSOCIADOS AO GPS

ALMANAQUE	– efemérides contidas no sinal do satélite; dados que definem as órbitas e as condições operacionais de todos os satélites GPS.
BRG	– marcação de um ponto da derrota (“bearing”).

C/A CODE	– código de aquisição inicial e navegação do GPS (“coarse/acquisition code”), acessível a todos os usuários.
CHANNEL	– um canal de um receptor GPS; consiste nos circuitos necessários para sintonizar e receber os sinais de um satélite da constelação GPS.
COG	– rumo no fundo (“course over the ground”).
CONTROL SEGMENT	– rede de estações de controle e monitoramento, situadas em diversos locais da Terra, que asseguram a precisão das posições dos satélites GPS e de seus relógios.
DGPS	– GPS Diferencial; com esta técnica, consegue-se aumentar muito a precisão do GPS padrão.
DOP	– diluição da precisão da posição.
EFEMÉRIDES	– dados de posição dos satélites e correções de tempo correspondentes, além de outras informações relativas ao desempenho dos satélites e dados para modelagem dos efeitos ionosféricos, que são transmitidos para os usuários nas mensagens de navegação.
ETA	– hora estimada de chegada (“estimated time of arrival”).
GDOP	– diluição da precisão geométrica da posição GPS.
GLONASS	– sistema russo de navegação por satélites semelhante ao GPS.
GNSS	– Global Navigation Satellite System (em projeto).
GPS	– Sistema de Posicionamento Global (“Global Positioning System”).
HDOP	– diluição da precisão horizontal ou planimétrica (Latitude/Longitude) da posição GPS.
MENSAGEM DE NAVEGAÇÃO	– mensagem incluída no sinal GPS que informa a posição do satélite, as correções de tempo e a condição de operação do satélite, além de informações sobre os outros satélites da constelação GPS; também denominada de mensagem de dados do sistema (“system data message”).
MHz	– Megahertz (10^6 Hertz); unidade de medida das frequências utilizadas no sistema GPS.
MOB	– função especial para homem ao mar (“man overboard”) do equipamento GPS.
MSK	– modulação por deslocamento de pulsos (“minimum shift keying”).
NAVSTAR	– Sistema de Navegação por Tempo e Distância (“Navigation System by Time and Ranging”), que é o princípio utilizado pelo GPS.
P-CODE	– Código de Precisão ou Código Protegido do GPS, somente acessível a usuários autorizados.

PDOP	– diluição da precisão da posição GPS (“position dilution of precision”).
POSIÇÃO 2D	– posição planimétrica, em duas dimensões (Latitude e Longitude).
POSIÇÃO 3D	– posição plano-altimétrica, em três dimensões (Latitude, Longitude e altitude).
PPS	– Serviço de Posicionamento Preciso (“Precise Positioning Service”) do GPS, baseado no Código P e, assim, somente acessível a usuários autorizados.
PSEUDORANGE	– pseudo-distância, ou distância aparente, aos satélites, medida pelos receptores GPS, que não foi corrigida dos erros na sincronização entre o relógio do satélite e o relógio do receptor GPS.
RECEPTOR MONOCANAL	– receptor GPS que acompanha um satélite de cada vez e mede as distâncias seqüencialmente, proporcionando menor precisão que um receptor GPS multicanal.
RECEPTOR MULTICANAL	– receptor GPS que pode acompanhar e medir as distâncias simultaneamente para vários satélites GPS (tantos quantos forem os canais disponíveis).
S/A	– Disponibilidade Seletiva (“Selective Availability”) ou Degradação Intencional da precisão do GPS, introduzida pelo Ministério da Defesa dos EUA, para reduzir a precisão do GPS padrão, acessível a qualquer usuário.
SOA	– velocidade de avanço (“speed of advance”) resultante na derrota.
SOG	– velocidade no fundo (“speed over the ground”), ou seja, velocidade verdadeira do navio, com relação à superfície da Terra, e não com relação à massa d’água em movimento.
SPACE SEGMENT	– segmento espacial do GPS constituído pela constelação de satélites do sistema e seus veículos de lançamento.
SPS	– Serviço Padrão de Posicionamento (“Standard Positioning Service”), acessível a qualquer usuário, com a degradação intencional introduzida no sistema.
UHF	– Frequência Ultra-Alta (“Ultra High Frequency”); o GPS utiliza frequências da banda L (designadas L1 e L2) da faixa de UHF.
VDOP	– diluição da precisão vertical (altitude) do GPS.
WAYPOINT	– ponto de derrota.
WGS-84	– Sistema Geodésico Mundial – 1984 (“World Geodetic System – 1984”); elipsóide e “datum” utilizados como referência para todos os cálculos e posições do sistema GPS.

OUTROS SISTEMAS E TÉCNICAS MODERNAS DE NAVEGAÇÃO

38.1 NAVEGAÇÃO INERCIAL

Todos os sistemas de Navegação Eletrônica discutidos nos capítulos anteriores dependem de informações externas ao navio, transmitidas por estações terrestres (Omega, Decca, LORAN-C, Radiogoniometria e Consol) ou por satélites (TRANSIT, GPS), através de ondas eletromagnéticas. O RADAR, estudado no volume I (Capítulo 14), depende de pulsos de RF transmitidos pelo próprio navio. O sistema DOPPLER de navegação, que será estudado a seguir, depende da transmissão de ondas acústicas pelo navio. O **Sistema de Navegação Inercial**, entretanto, é independente de qualquer sinal transmitido externamente ou pelo próprio navio.

Há uma grande vantagem em um sistema de navegação que possa fornecer a posição do navio continuamente e com precisão, sem necessitar de qualquer informação externa. Esse sistema não requer a emissão ou recepção de sinais e é imune a interferências. Isto é de particular importância para os submarinos nucleares, que são projetados para permanecerem submersos durante suas patrulhas, por prolongados períodos.

O Sistema de Navegação Inercial para Navios (SINS – “Ship’s Inertial Navigation System”) foi desenvolvido no final dos anos 1950 e início da década seguinte, para preencher os requisitos de posicionamento preciso dos submarinos nucleares portadores de mísseis balísticos (SSBN). Após um primeiro modelo experimental instalado no submarino “Nautilus”, que cruzou o Pólo Norte navegando submerso, em 3 de agosto de 1958, o Sistema de Navegação Inercial foi empregado a bordo do submarino “George Washington”, em 1960. Desde então, tem sido continuamente refinado, aperfeiçoado e reduzido em tamanho

e custo, de modo que, atualmente, seu uso foi estendido aos submarinos de ataque, navios-aeródromos e outros meios de superfície.

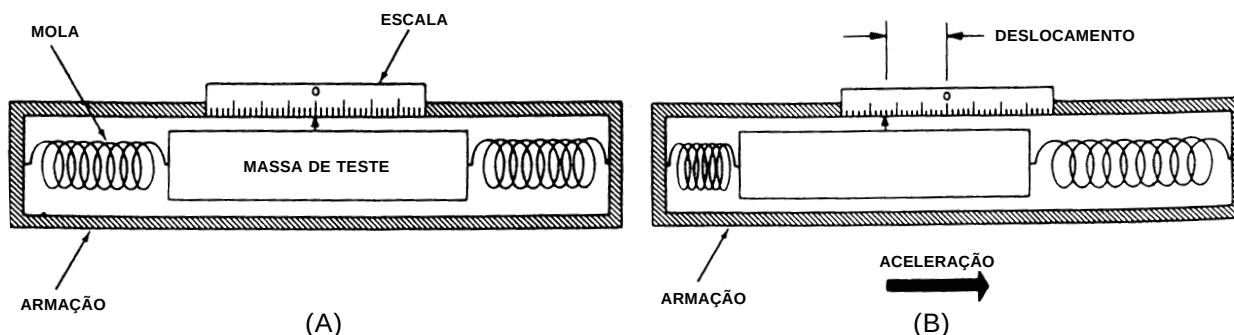
A **Navegação Inercial** é definida como o processo de determinar a posição do navio e os seus movimentos com base na medida das suas acelerações em direções espaciais conhecidas, por meio de instrumentos que mecanizam as leis do movimento de Newton. As acelerações são integradas para obtenção da velocidade e posição. Os instrumentos básicos usados em todos os sistemas de navegação inercial são **giroscópios, acelerômetros e computadores**.

Os giroscópios foram estudados no Volume I (Capítulo 3). Essencialmente, um **giroscópio** clássico consiste de um rotor (volante ou toro), perfeitamente balanceado, que, ao girar em alta velocidade, mantém, de acordo com as leis de Newton, a orientação do seu eixo de rotação, apontando sempre para um mesmo ponto no espaço (com respeito a um sistema de referência universal), exceto quando perturbado por uma força externa, como a gravidade ou o atrito (fricção). Um **acelerômetro** é um dispositivo projetado para computar a aceleração (**A**) ao longo de um determinado eixo, pela medida da força (**F**), exercida ao longo desse eixo, sobre uma dada massa (**M**), usando a 2ª Lei do Movimento de Newton (**F = MA**).

Um acelerômetro pode ser considerado, em sua expressão mais simples, como uma massa suspensa por um fio (um pêndulo) ou que pode correr ao longo de um guia reto. Estando o suporte do pêndulo ou do guia em repouso, ou em estado de movimento retilíneo uniforme, a massa estará em seu ponto neutro. Mas, se o suporte inicia movimento, ou altera sua velocidade, isto é, se há uma aceleração, a massa se desloca da posição neutra e a quantidade de deslocamento é proporcional ao valor da aceleração.

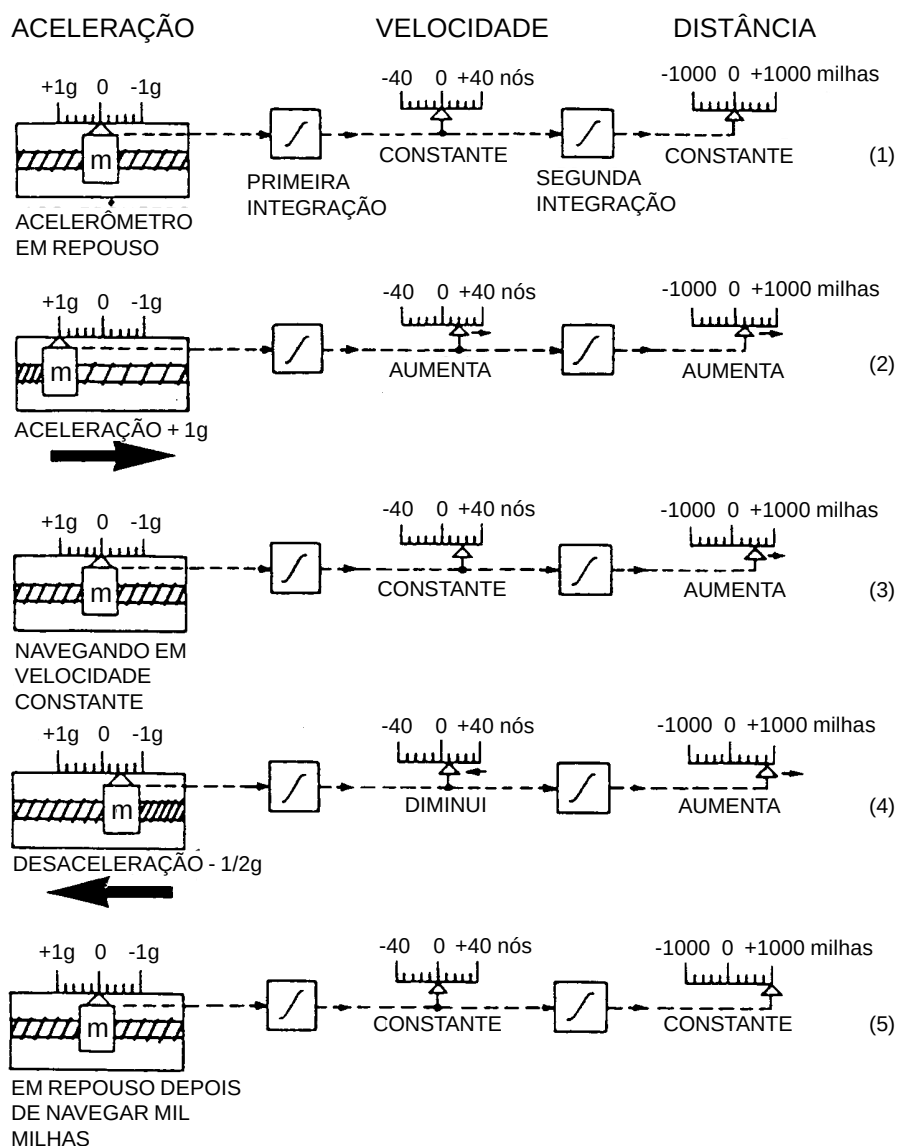
A medida do deslocamento é feita por meios elétricos, pois, assim, conseguem-se detectar tanto as mínimas como as grandes acelerações. A figura 38.1 mostra um tipo simples de acelerômetro. Ele é constituído da armação, massa de teste, molas de controle e escala graduada. Se a armação está em repouso, ou se deslocando em movimento retilíneo uniforme, a massa está em sua posição neutra, como indicado na figura 38.1(A). Quando a armação é acelerada para a direita (como no caso de alteração de velocidade), a massa se move para trás com referência à armação, o que é indicado pelo ponteiro na escala. Quando cessa a aceleração, no caso de ser mantida uma velocidade uniforme, as molas de controle fazem com que a massa de teste retorne à sua posição neutra inicial com respeito à armação.

Figura 38.1 – Acelerômetro Básico



Na figura 38.2, apresentamos uma ilustração do que ocorreria num navio hipotético, que navegasse em linha reta, e cujo acelerômetro só estivesse sujeito às forças devidas à marcha normal do navio.

Figura 38.2 – Operação do Acelerômetro



Em (1) o acelerômetro marca zero – o navio está parado.

Em (2) o navio inicia o movimento, dando lugar a uma aceleração de $1g$; sua integração dá a velocidade de 20 nós, e, ao integrar a velocidade, começa a marcar a distância.

Em (3), alcançada a velocidade de 20 nós, a mesma é mantida constantemente; o acelerômetro volta a marcar zero; a velocidade prossegue em 20 nós e a distância continua aumentando.

Em (4) há uma aceleração negativa, ou seja, uma desaceleração, o que é indicado no acelerômetro; há, portanto, uma redução da velocidade, que diminui para 10 nós; a distância continua aumentando, mas de maneira mais lenta.

Em (5) o navio pára, depois de percorrer 1.000 milhas. O acelerômetro marca zero, pois está em repouso; a velocidade é zero, e a escala de distância marca mil milhas, cessando de aumentar.

O navegador inercial só necessita medir as acelerações nos sentidos Norte–Sul e Leste–Oeste. As demais acelerações, como as devidas ao balanço, caturro, gravidade, etc., devem ser eliminadas.

Um **Sistema de Navegação Inercial** é basicamente constituído por:

- Dois acelerômetros, que medem as acelerações do navio com respeito aos eixos N–S e E–W;
- integradores acoplados aos acelerômetros;
- plataforma estabilizada por giroscópios, sobre a qual estão os acelerômetros;
- sistema de orientação, que mantém os acelerômetros alinhados em suas respectivas direções azimutais; e
- computador digital para determinar as diferenças de Latitude e de Longitude, aplicando-as às coordenadas inicialmente alimentadas, e que fornece a posição do navio.

Em uma breve descrição de sua operação, pode-se dizer que o Sistema de Navegação Inercial é baseado no princípio da Sintonia de Schuler, pelo qual uma plataforma estável permanecerá alinhada com a vertical do local, qualquer que seja o movimento do veículo onde esteja instalada. O sistema consiste, basicamente, de dois acelerômetros e três giroscópios. A Latitude é obtida pela medida do ângulo entre a vertical do lugar e o eixo de rotação da Terra, com o qual um dos giroscópios está alinhado. A Longitude é obtida por dupla integração da aceleração no sentido Leste–Oeste (E–W), medida por um dos acelerômetros, para produzir distância percorrida no fundo (“distance over the ground”) na direção E–W; esta é, então, aplicada como diferença de Longitude (ΔL) à Longitude da posição inicial. Assim, o Sistema de Navegação Inercial (SINS) **mede** Latitude, mas **calcula** Longitude. Os dois acelerômetros e os três giroscópios são montados em um sistema com suspensão cardan; os acelerômetros e os giroscópios são interdependentes, não se podendo identificar tarefas separadas e distintas para cada componente.

A teoria do SINS fundamenta-se na aplicação do princípio da inércia a um sistema giroscópico. O sistema é construído de forma que tende a permanecer estável no espaço, em três planos perpendiculares entre si, sendo isto obtido pelo uso de três giroscópios. Assim, quando o navio se desloca, o sistema, pela propriedade da inércia, tende a permanecer fixo no espaço. O método pelo qual isto é usado para fornecer posição geográfica (Latitude e Longitude) será explicado adiante, mas antes é necessário entender a construção do sistema giroscópico e da plataforma estável do Sistema de Navegação Inercial.

38.2 A PLATAFORMA ESTÁVEL DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL

Para estabilizar o sistema em três planos, são requeridos três giroscópios, montados perpendicularmente entre si. Usam-se giroscópios com um único grau de liberdade (“single-degree-of-freedom gyroscopes”), figura 38.3, com seus eixos sensíveis apontados, respectivamente, para o Pólo Norte Celeste (giroscópio **L**), na direção oposta ao centro da Terra (giroscópio **M**) e na tangente à superfície da Terra (giroscópio **E**), conforme apresentado na figura 38.4, onde as setas indicam a direção dos eixos sensíveis dos giroscópios (para o giroscópio **E** está mostrada a ponta da seta).

Os três giroscópios são montados com suspensão cardan, de modo que tenham completa liberdade de movimento em todos os três planos. Ademais, os giroscópios **L** e **M** devem girar em torno do eixo horizontal E–W, conforme o navio varia sua Latitude. Para

obter isto, estes dois giroscópios são montados no “Anel de Latitude”, que é um disco capaz de girar em torno do eixo horizontal E–W, sendo, assim, mantido com seu plano no meridiano. Sua atitude é mostrada na figura 38.5, para as posições na superfície da Terra (a) e (b), da figura 38.6.

Figura 38.3 – Giroscópio com um Único Grau de Liberdade (“Single-Degree-of-Freedom Gyroscope”)

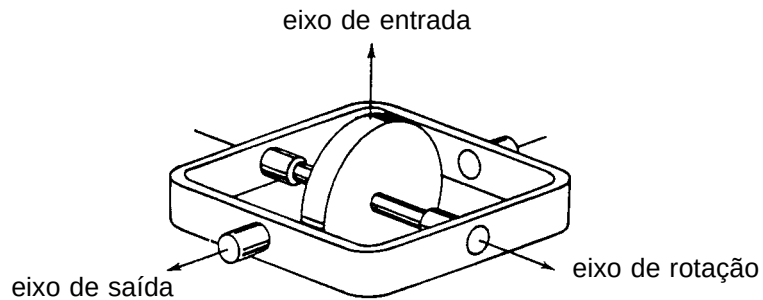


Figura 38.4 – Orientação dos Três Giroscópios

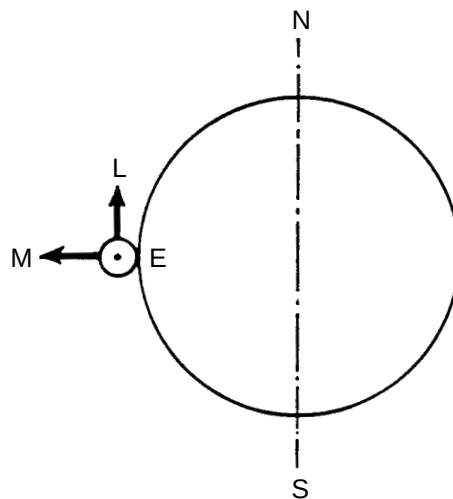


Figura 38.5 – Rotação do Anel de Latitude em Torno do Eixo E–W

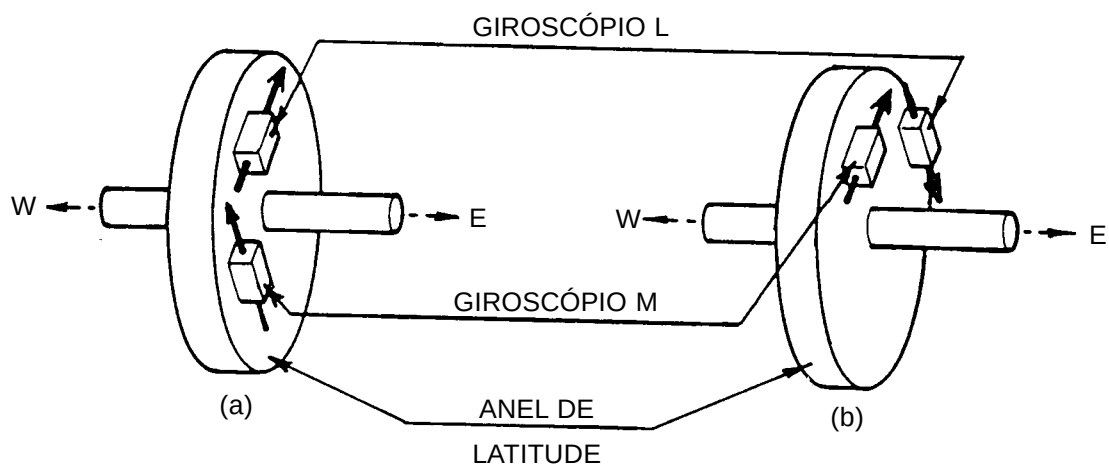
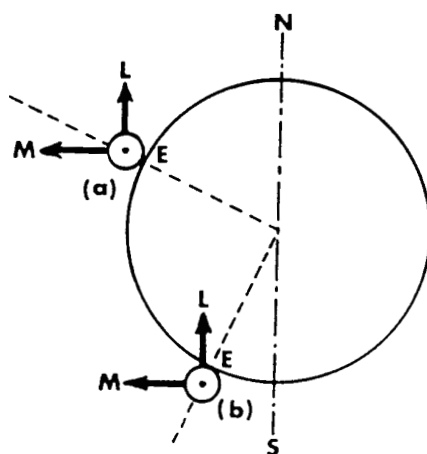


Figura 38.6 – Efeito das Mudanças de Latitude

O Anel de Latitude é montado no Anel de Azimute, livre de girar em azimute, em todas as direções (figura 38.7). O giroscópio E–W é montado sobre este anel. O Sistema Giroscópico completo, então, está mostrado na figura 38.7. O sistema, como descrito até aqui, tenderia a permanecer fixo no espaço, o que significa que, para um observador na superfície terrestre, pareceria girar de 360° a cada dia sideral, devido à rotação da Terra (figura 38.8).

Entretanto, o giroscópio **M** deve ser mantido no plano do meridiano e o giroscópio **E** no plano horizontal, por razões que se tornarão aparentes mais tarde. Então, o giroscópio **L** recebe um torque em torno de seu eixo, numa razão igual e oposta à rotação da Terra (isto é, 360° em cada dia sideral). Por esta razão, o sistema mantém sua atitude com respeito à horizontal e à vertical, conforme mostrado na figura 38.9.

Além disso, o sistema deve ter um meio de buscar a vertical (e, conseqüentemente, a horizontal). Isto é proporcionado por **acelerômetros** em dois eixos. Os **acelerômetros** são, basicamente, pêndulos montados no Anel de Azimute, como mostrado na figura 38.10, de modo que seus eixos sensíveis sejam N–S e E–W. Isto é importante, porque os acelerômetros devem ser capazes de medir a aceleração e indicar a vertical em dois planos: Norte–Sul e Leste–Oeste. O equipamento até aqui descrito (com os três giroscópios, o Anel de Latitude, o Anel de Azimute e os dois acelerômetros) constitui o **Elemento Sensível** do Sistema de Navegação Inercial (figura 38.10). Para isolar o **Elemento Sensível** do balanço e caturro do navio, ele é montado em duas suspensões adicionais. O sistema completo, denominado de **Plataforma Estável**, é mostrado na figura 38.11.

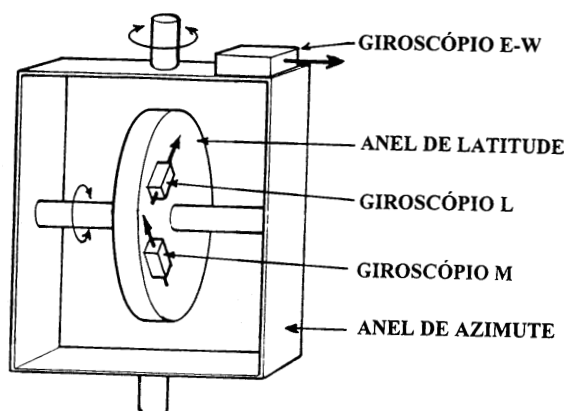
Figura 38.7 – O Sistema Giroscópico Completo

Figura 38.8 – Efeitos da Rotação da Terra

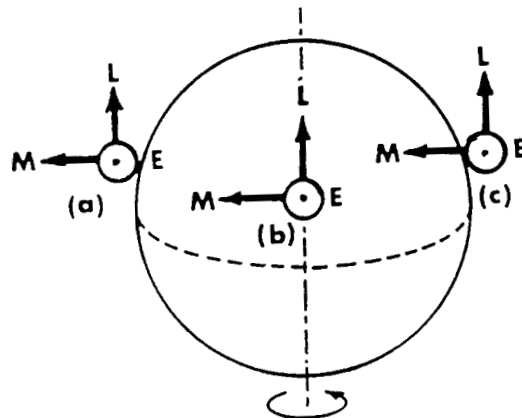


Figura 38.9 – Efeito do Torque no Giroscópio L

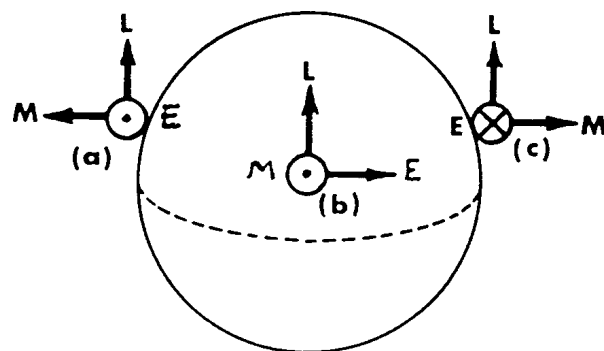


Figura 38.10 – Elemento Sensível do Sistema de Navegação Inercial

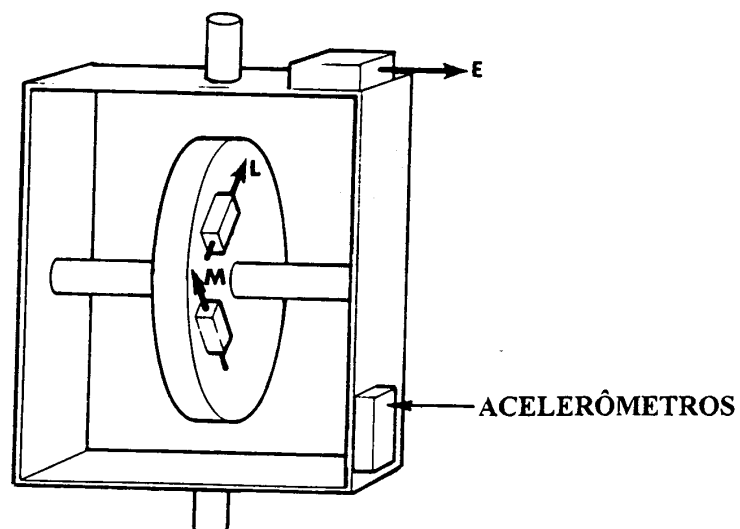
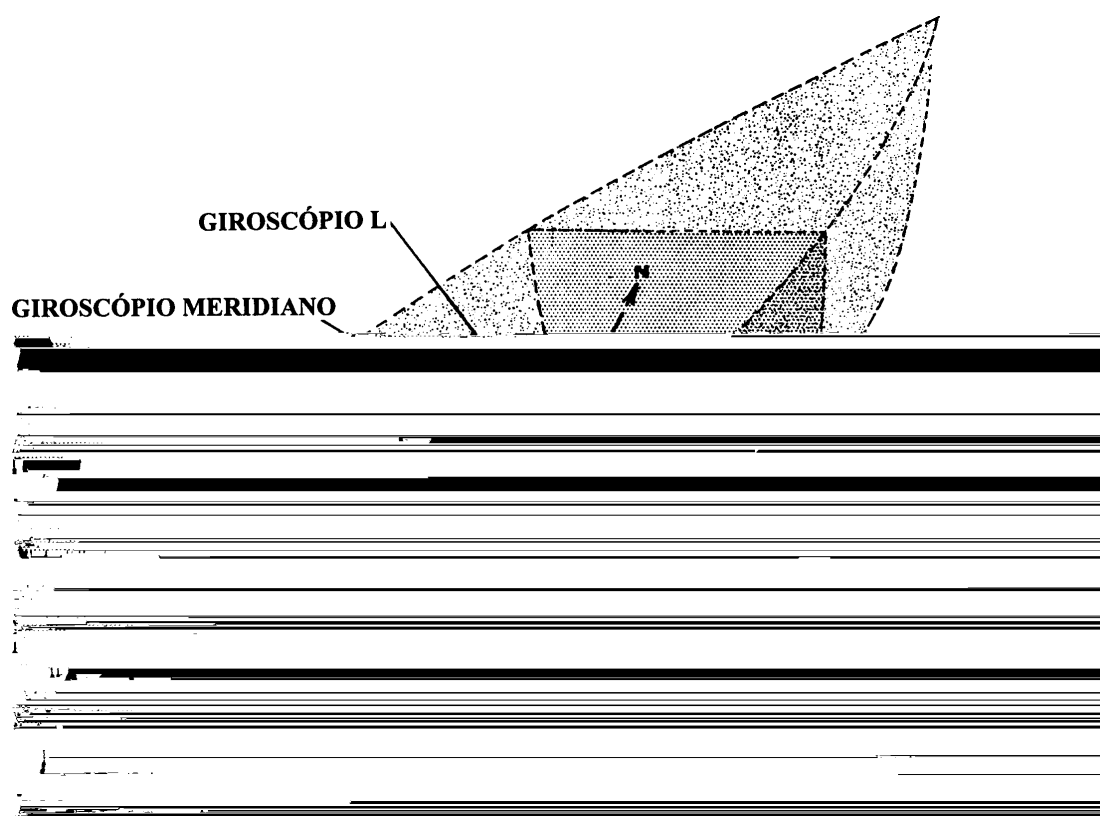


Figura 38.11 – Plataforma Estável do SINS (Navio na Proa Norte)

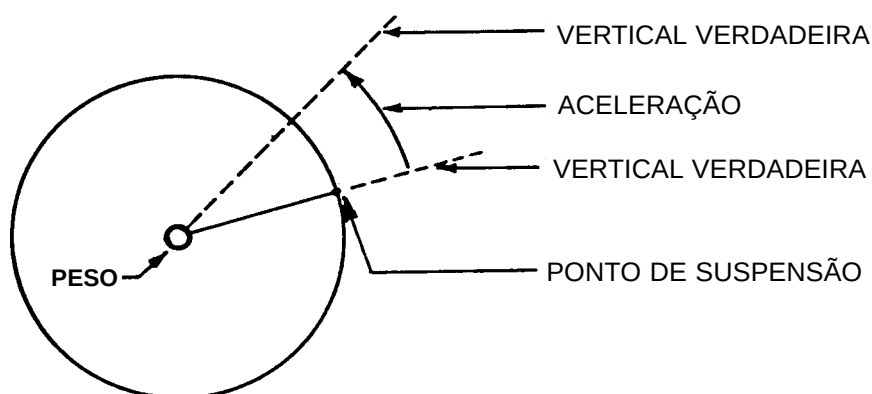
Cada anel de suspensão é controlado por um motor de torque, através de um sistema servo-motriz, usando sinais dos três giroscópios. Além disso, o giroscópio **L**, conforme anteriormente citado, recebe um torque igual e oposto à rotação da Terra. Assim, a **Plataforma Estável** é isolada dos efeitos do movimento do navio (isto é conhecido como “isolamento do movimento da base”) e vai buscar e permanecer em uma atitude correta com respeito aos planos horizontal e vertical.

38.3 PRINCÍPIO DA SINTONIA DE SCHULER

Os pêndulos dos acelerômetros estariam sujeitos a ser afetados pela aceleração do navio, ou seja, eles poderiam tomar uma falsa vertical, do mesmo modo que ocorreria com um pêndulo em um trem que estivesse acelerando, devido ao atraso do peso. Isto pode ser contornado pelo uso do Princípio de Schuler, pelo qual um pêndulo com o seu ponto de suspensão na superfície terrestre e o seu peso no centro da Terra indicará sempre a verdadeira vertical, independentemente da aceleração imprimida ao ponto de suspensão (figura 38.12).

O período de oscilação desse pêndulo será de 84 minutos. Assim, o **Princípio de Schuler** aplica-se a qualquer pêndulo com um período de 84 minutos. Então, sintonizam-se os circuitos dos acelerômetros e dos giroscópios, de modo que o Elemento Sensível tenha este período de oscilação, para que mantenha a propriedade de indicar a vertical verdadeira, sob qualquer aceleração ou desaceleração a que esteja sujeito. O processo é conhecido como “Sintonia de Schuler”.

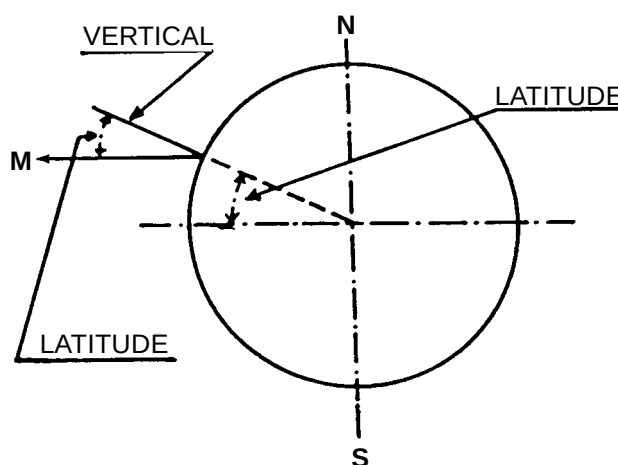
Figura 38.12 – Pêndulo com Peso no Centro da Terra



38.4 MEDIDA DA LATITUDE E CÔMPUTO DA LONGITUDE

A **Latitude** é medida diretamente, em um Sistema de Navegação Inercial, a partir da Plataforma Estável, pois é o ângulo entre o giroscópio **M** e a vertical do Elemento Sensível (figura 38.13). A **Longitude** não pode ser medida diretamente, mas o **torque adicional** exigido para manter o Elemento Sensível vertical no meridiano é uma medida da velocidade na direção E–W. A integração desse dado dará a distância navegada E–W, que pode ser aplicada, como diferença de Longitude (Dl), à Longitude anterior indicada, de modo a manter a posição do navio constantemente atualizada.

Figura 38.13 – Medida da Latitude no Sistema de Navegação Inercial



Assim, em resumo, a Plataforma Estável mantém sua atitude com relação ao eixo de rotação da Terra e à vertical, por um sistema de três giroscópios e dois acelerômetros. A Sintonia de Schuler garante que o movimento do navio não introduz no sistema uma falsa vertical. O SINS mede diretamente a Latitude, mas a Longitude é obtida por integração da velocidade E–W. O movimento do veículo considerado pelo SINS é o movimento verdadeiro, sobre a superfície da Terra, levando em conta todas as influências – correntes, ventos, marés, etc.

Além da Latitude e Longitude, o Sistema de Navegação Inercial proporciona, ainda, as seguintes informações:

- **Rumo do navio:** indicado com muita precisão pelo giroscópio E–W e acelerômetro; assim, o SINS pode substituir uma agulha giroscópica;
- **Caturro e balanço:** a Plataforma Estável é mantida com muita precisão nos planos horizontal e vertical; então, é capaz de proporcionar dados exatos de balanço e caturro, para alimentar os sistemas de armas e sensores, para sua estabilização; e
- **Velocidade:** a razão de torque dos giroscópios fornece as componentes N–S e E–W da velocidade; com isso, calcula-se a velocidade verdadeira do navio (velocidade no fundo).

38.5 ERROS NO EQUIPAMENTO. PRECISÃO DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL

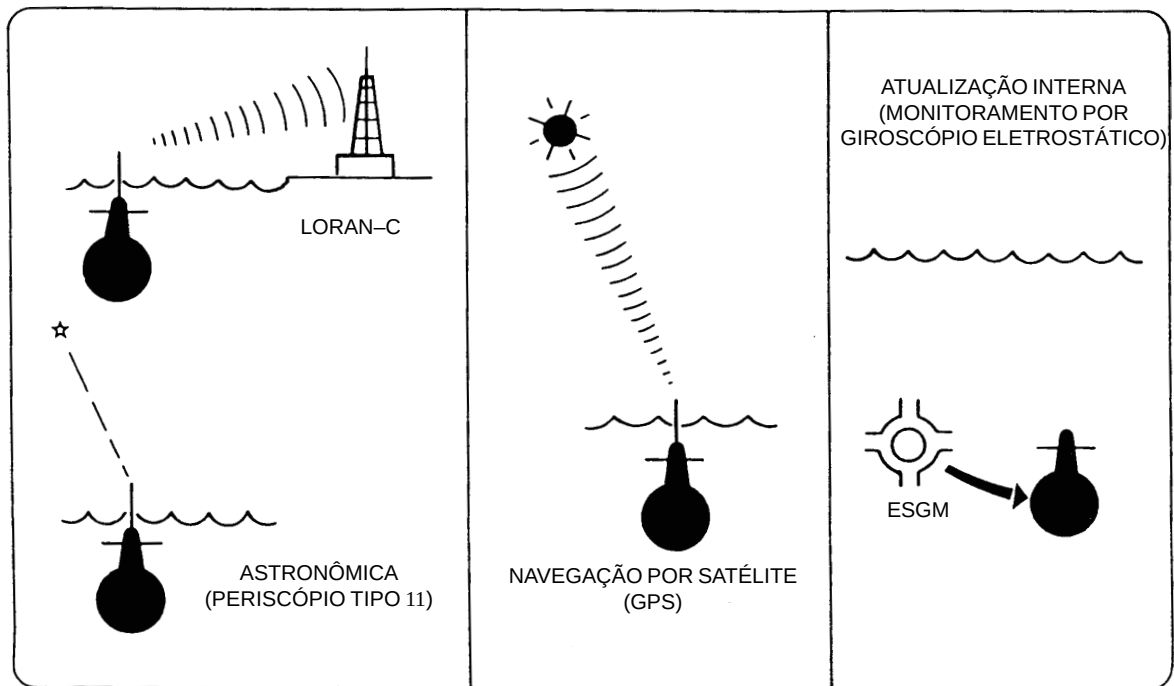
A exatidão de um **Sistema de Navegação Inercial** depende fundamentalmente da precisão e confiança dos seus principais componentes. As fontes potenciais de erros mais significativas são:

- Erros causados pelo movimento de rotação diário da Terra;
- atrito nos sistemas giroscópicos;
- desalinhamento da plataforma estável, resultando que componentes verticais do campo gravitacional da Terra sejam falsamente interpretados como componentes horizontais; e
- outras imperfeições na construção dos giroscópios e acelerômetros.

Devido ao erro combinado causado por estes e outros fatores, todos os Sistemas de Navegação Inercial apresentam algum grau de erro cumulativo, que aumenta com o tempo de operação. Assim, a posição fornecida pelo sistema deve ser periodicamente comparada com posições obtidas por outros meios e, ainda, o SINS deve ser atualizado e calibrado a determinados intervalos de tempo, utilizando, por exemplo, uma posição LORAN-C ou GPS. Entretanto, os sistemas atuais requerem atualizações muito menos freqüentes que os inicialmente instalados nos submarinos portadores de mísseis balísticos “Polaris”. Isto é uma característica importante, pois a determinação da posição por meios externos muitas vezes requer que o submarino navegue próximo da superfície (figura 38.14), onde a vulnerabilidade à detecção é grandemente aumentada.

Entre os avanços mais interessantes ocorridos durante os esforços contínuos para refinar os Sistemas de Navegação Inercial nos últimos 20 anos, destacam-se o desenvolvimento do **giroscópio eletrostático** (ESG – “electrostatic gyro”) e do **giroscópio a laser** (“laser gyro”). No **giroscópio eletrostático**, o rotor consiste de uma esfera sólida de berílio de 1 centímetro de diâmetro, que gira a 216.000 RPM em um vácuo quase perfeito. O rotor é suspenso unicamente por um campo eletrostático, que mantém a esfera afastada poucos centésimos de milímetro da superfície interna do estojo que a contém. Assim, o **giroscópio eletrostático** fica livre do atrito nos rolamentos, que afeta os giroscópios clássicos, assim como de muitos dos torques aleatórios associados, que suspensões mecânicas podem introduzir. Conseqüentemente, o ESG representa a melhor aproximação jamais alcançada pelo homem ao giroscópio perfeito teórico.

Figura 38.14 – Determinação de Posição para Atualização do SINS



Nos Sistemas de Navegação Inercial mais modernos, um **giroscópio eletrostático** é empregado para monitorar continuamente a posição derivada de sistemas giroscópicos convencionais e para atualizar periodicamente o sistema (atualização interna), durante o intervalo entre duas posições determinadas por meios externos. Embora, com o decorrer do tempo, mesmo um Sistema de Navegação Inercial monitorado por **giroscópio eletrostático** desenvolva um grau significativo de erro e necessite de atualização externa, o emprego deste dispositivo aumenta de cerca de 6 vezes o tempo requerido entre estas atualizações, em comparação com os modelos de SINS mais antigos (figura 38.15).

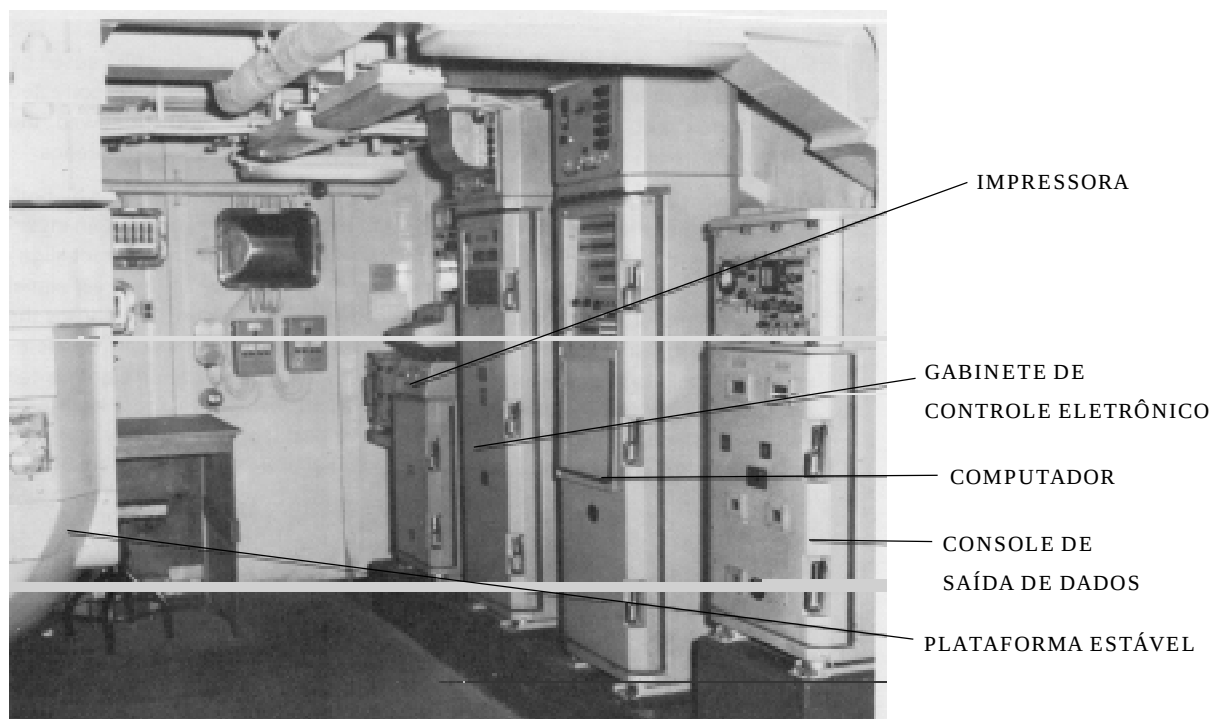
O **giroscópio a laser** foi incorporado em muitos dos Sistemas de Navegação Inercial mais novos, desenvolvidos recentemente, em especial naqueles projetados para aeronaves. Na realidade, o equipamento não é um giroscópio no sentido tradicional, pois não há uma massa giratória central. Em vez disso, existe uma trajetória laser geométrica fechada (normalmente triangular), centrada em um eixo de rotação virtual. Esta trajetória é percorrida em sentidos opostos por feixes laser de fases idênticas, que são gerados continuamente. Qualquer rotação do dispositivo em torno do eixo causará uma diferença de fase aparente nos dois feixes laser, pois a trajetória do feixe que se propaga na direção da rotação é efetivamente aumentada, enquanto que a trajetória do feixe que se propaga na direção oposta é diminuída. A diferença de fase medida será diretamente proporcional à velocidade de rotação. Por não depender de uma massa giratória para sua operação, o Sistema de Navegação Inercial que emprega **giroscópios a laser** é ainda mais preciso que os sistemas monitorados por **giroscópios eletrostáticos**.

Também foram feitos aperfeiçoamentos na construção dos acelerômetros, o que contribuiu para aumentar a precisão do SINS.

Além disso, em algumas aplicações utilizou-se o princípio da redundância, instalando-se a bordo dois Sistemas de Navegação Inercial, inicializando-se um dos sistemas pelas informações do outro (no meio da “vida útil” de sua precisão), aumentando-se, assim, o intervalo de tempo entre as necessárias atualizações por meios externos.

Um Sistema de Navegação Inercial atualmente instalado em vários submarinos e navios da U.S. Navy é o SINS Mark III Mod 5, cujos componentes são mostrados na figura 38.16.

Figura 38.16 – Sistema de Navegação Inercial MK III Mod 5



Detalhes sobre a precisão dos Sistemas de Navegação Inercial constituem, normalmente, informações classificadas, cujo grau de sigilo impede sua divulgação. No entanto, pode-se afirmar que a informação de azimuth (rumo) é muito precisa ($\pm 0,1^\circ$), sendo o SINS,

normalmente, utilizado como fonte primária de direções (rumos) para as repetidoras de bordo, substituindo, assim, a agulha giroscópica (que permanece como “back-up”).

Outra grande vantagem é a saída precisa e contínua de dados de estabilização proporcionada pelo SINS, que é usada nos sistemas de armas e nos sensores de bordo.

Quanto à precisão de posicionamento, ela é melhor que 1 milha, em todas as ocasiões.

Entretanto, embora o SINS não esteja sujeito a vários erros comuns na navegação estimada, o navegante deverá sempre lembrar que as posições fornecidas pelo sistema não são posições determinadas, assemelhando-se mais a posições estimadas. Por melhor que sejam os equipamentos, os dados de posição deverão ser comparados com outros meios, assim que as circunstâncias permitirem.

38.6 NAVEGAÇÃO DOPPLER

O **Sistema Sonar Doppler** é um desenvolvimento relativamente recente na navegação, sendo capaz de determinar a profundidade e a velocidade verdadeira do navio, ou velocidade no fundo (“speed over the ground”), com um alto grau de precisão. O sistema é baseado na medida da **variação Doppler** (“**Doppler shift**”) de um padrão acústico continuamente transmitido.

No Volume I deste Manual (Capítulo 11) é apresentado um breve estudo do efeito Doppler e de sua aplicação nos odômetros.

Em síntese, a determinação da velocidade da fonte (navio) é dada, segundo a lei Doppler-Fizeau, por (figura 38.17):

$$v = C \left(1 - \frac{f}{f'} \right)$$

Onde:

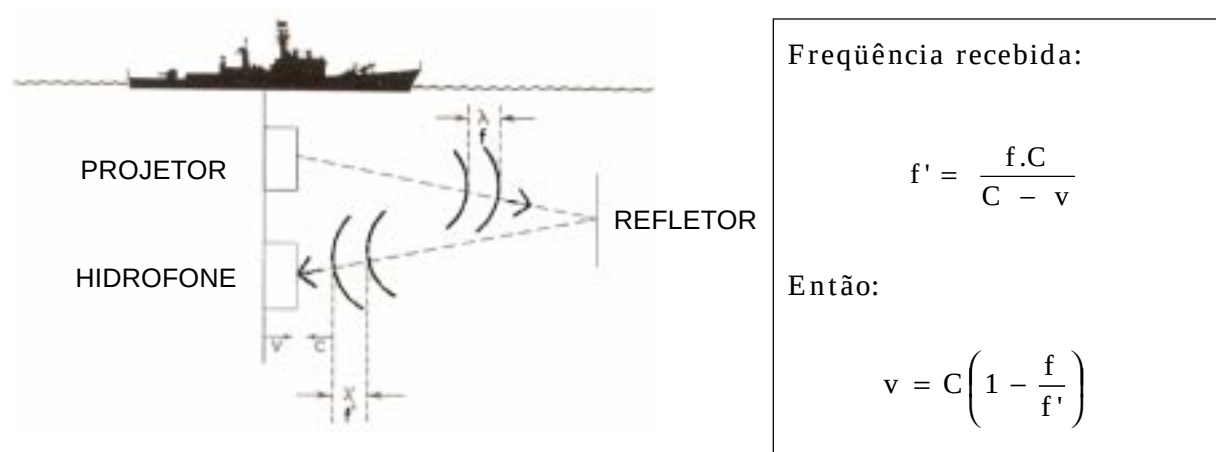
v = velocidade da fonte (incógnita desejada);

C = velocidade do som na água (conhecida);

f = frequência da onda acústica transmitida (conhecida); e

f' = frequência da onda refletida (eco) recebida (medida).

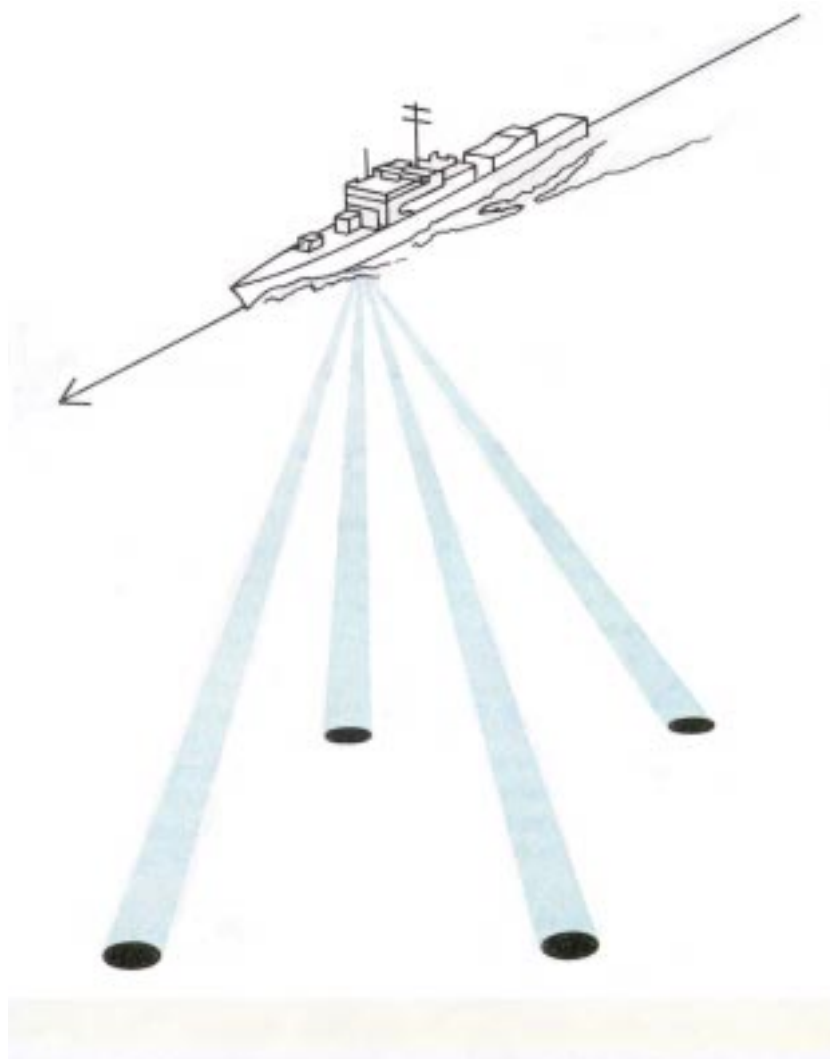
Figura 38.17 – Padrão das Ondas Acústicas Refletidas de Volta a um Transmissor/Receptor em Movimento



Uma complicação inerente a qualquer sistema de navegação Doppler é que as características de propagação de um sinal acústico tendem a variar com a temperatura, salinidade e densidade da água do mar na qual o sinal é transmitido. Em vista disso, como o sistema depende de pequenas variações de frequência dos ecos refletidos, causados pelo movimento horizontal do navio, o equipamento deve incorporar, para garantir boa precisão em águas mais profundas, um método para compensar as mudanças aleatórias de frequência resultantes de condições variáveis da água do mar. Ademais, como somente a componente horizontal da velocidade do navio é de interesse, quaisquer erros verticais que possam ser introduzidos como resultado do balanço e do caturro da plataforma também devem ser eliminados.

Então, no processo de desenvolvimento de Sistemas Sonar Doppler, tanto para emprego militar como para uso científico e comercial, adotou-se um arranjo de 4 transdutores em dois eixos, com feixes transmitidos no eixo longitudinal do navio (para vante e para ré) e no eixo transversal (para boreste e para bombordo), com 90° de afastamento entre feixes, que formam um ângulo de cerca de 30° com a vertical, conforme mostrado na figura 38.18. Este padrão é denominado de “configuração Janus”, em alusão à figura mitológica de Janus, divindade romana representada com dois rostos opostos, capaz de olhar simultaneamente para frente (para o futuro) e para trás (para o passado).

Figura 38.18 – Configuração Janus (Arranjo de Quatro Transdutores em Dois Eixos – Longitudinal e Transversal)



Este padrão permite que as variações Doppler para vante e para ré, assim como para boreste e bombordo, sejam continuamente comparadas para eliminar qualquer erro decorrente de movimento vertical do navio ou causado por irregularidades do fundo, proporcionando, assim, uma determinação muito precisa da velocidade horizontal do navio e da profundidade. O sistema fornece informações contínuas de velocidade (com precisão de 0,1 nó), profundidade (com precisão de 1 metro) e distância navegada (com aproximação de 0,01 milha).

Portanto, a “configuração Janus” usa quatro fontes de energia sonora, espaçadas de 90° entre si. As fontes operam como transmissores e receptores, usando como refletor o fundo do mar. Os transdutores emitem feixes de energia ultra-sônica e, através da medida do desvio Doppler da frequência das ondas refletidas pelo fundo, é possível medir a velocidade de deslocamento nos eixos longitudinal e transversal.

Em muitas aplicações militares e científicas, os transdutores são montados em uma plataforma horizontal estabilizada por giroscópios, que mantém os feixes orientados nas 4 direções cardeais – Norte, Sul, Leste e Oeste, para determinar o rumo no fundo e a velocidade no fundo. Assim, fica criado um sistema de “navegação estimada” de grande precisão, capaz de indicar continuamente a posição do navio, a partir de uma posição inicial introduzida no equipamento. Além disso, as informações de rumo verdadeiro e velocidade no fundo podem ser transmitidas a outros sistemas de navegação de bordo, incluindo plotador de derrota estimada. Nas aplicações comerciais, em navios de grande calado, altamente estáveis, como os V.L.C.C. (“Very Large Crude Carriers”), U.L.C.C. (“Ultra Large Crude Carriers”) e alguns navios RoRo (“roll-on, roll-off”), o arranjo de 4 transdutores é rigidamente fixado ao fundo do navio e a estabilização é obtida por meios eletrônicos.

A maioria dos Sistemas Sonar Doppler utiliza reflexão no fundo do mar até profundidades de cerca de 300 metros (1.000 pés). Na operação em profundidades maiores, o sinal acústico é refletido pela massa d’água. A precisão dos navegadores Doppler é considerada como sendo de 0,17% da distância navegada desde a última calibragem (atualização) do sistema. Assim, por exemplo, para uma singradura de 1.000 milhas um navegador Doppler indicará a posição de chegada com um erro de 1,7 milha.

Como em todo sistema de navegação estimada, os erros se acumulam com o tempo e os principais são devidos à própria precisão das medidas de velocidades. Em fundos de até cerca de 300 metros, as ondas acústicas ultra-sonoras são refletidas pelo fundo do mar e, assim, a precisão das medidas é muito alta. Mas, para maiores profundidades, a precisão é diminuída, pois deve ser empregada a reflexão pela própria massa d’água (que também se movimenta). Assim, em profundidades maiores o sistema degrada, aumentando os erros com o crescimento da profundidade.

Outras fontes de erros são:

- Erros na orientação dos transdutores;
- erros induzidos pelo movimento do navio;
- erros devidos à variação da velocidade do som na água; e
- erros devidos à perda de potência do nível refletido.

Existem hoje muitas centenas de Sistemas Sonar Doppler instalados em navios militares, de pesquisa e comerciais, com a maioria deles encontrada a bordo de grandes petroleiros e graneleiros. Os sistemas estão sendo utilizados para manter uma plotagem estimada altamente precisa nas regiões oceânicas, fora do alcance LORAN-C. Além disso, servem como “back-up” à navegação por satélites (GPS). Os dados de velocidade do Sistema Sonar Doppler são também usados, via digital, em uma variedade de outros sistemas,

incluindo estabilizadores e sistemas integrados de navegação e governo. As informações do navegador Doppler são, ainda, muito úteis durante evoluções em canais e outras águas restritas, e nas operações de atracação ou fundeio, como veremos a seguir.

Equipamentos Doppler menores e menos complexos, operando com princípios semelhantes, foram recentemente desenvolvidos por vários fabricantes para embarcações pequenas, especialmente para navegação de esporte e recreio. Esses equipamentos usam somente um feixe sonar de grande abertura e dependem apenas de reflexão da onda acústica no fundo, pois, em sua maioria, as embarcações de esporte e recreio navegam principalmente em águas rasas. As informações fornecidas são a profundidade local, perfil do fundo, velocidade da embarcação e distância navegada. Tais equipamentos custam em torno de US\$ 1,000.00.

38.7 USO DO SONAR DOPPLER NO AUXÍLIO À ATRACAÇÃO E AO FUNDEIO

Para navios de grande deslocamento (igual ou maior que 100.000 toneladas de porte bruto), a determinação precisa da velocidade transversal proporcionada pelo sistema Doppler é de grande importância nas manobras de atracação, pois esta componente da velocidade é crítica quando o navio se aproxima do cais. A velocidade transversal máxima para uma aproximação com segurança do cais, para navios de 100.000 tpb, é de cerca de 0,2 pé por segundo (0,06 metro por segundo, ou 0,12 nó). Para navios maiores, tal velocidade deve ser ainda menor. Um navio deste porte, encostando no cais com uma velocidade maior que 1 pé por segundo (0,6 nó), pode destruir toda a estrutura de um terminal de atracação. Para fundeio, a velocidade do navio deve ser da ordem de 0,15 metro por segundo (0,3 nó), para navios de 100.000 tpb, aproximadamente. Se um navio deste porte fundear com velocidade maior, certamente perderá o ferro.

Por isso, navios desse deslocamento possuem indicadores de velocidade nos eixos proa-popa e boreste-bombordo (velocidade longitudinal e velocidade transversal). Sendo as exigências de precisão da ordem de 0,01 nó, tais velocidades só poderiam ser determinadas por sonar Doppler. Esse sistema de indicação de velocidades usa a “configuração Janus” anteriormente explicada. A apresentação é feita de modo digital, geralmente em visores LED. Um Sistema Sonar Doppler típico usado em navios mercantes é mostrado na figura 38.19.

Figura 38.19 – Sistema Doppler de Navegação (“DOPPLER SONAR”)



38.8 NAVEGAÇÃO BATIMÉTRICA

A **Navegação Batimétrica** pode ser definida como o ramo da navegação que utiliza a topografia submarina para obter dados de posicionamento do navio, a partir do retorno de ecos sônicos ou ultra-sônicos refletidos pelo fundo do mar, mesmo em grandes profundidades.

Embora muito útil também para navios de superfície, a **Navegação Batimétrica** é empregada especialmente por submarinos, que, quando submersos em profundidades maiores que a cota periscópica, ficam virtualmente impedidos de receber informações de navegação transmitidas por ondas eletromagnéticas, que quase não penetram no meio aquoso (como vimos, apenas as ondas de ELF e VLF, utilizando potências muito elevadas, conseguem penetrar nas camadas superficiais do mar). Nesta situação, a **Navegação Batimétrica**, usando ondas acústicas, que se propagam vantajosamente no oceano, constitui um método de navegação de valor inestimável, capaz de fornecer um meio de posicionamento baseado nas feições do fundo do mar.

Para a prática da **Navegação Batimétrica** são produzidas **Cartas Batimétricas** especiais. Essas cartas são, essencialmente, cartas de relevo submarino e se assemelham às cartas topográficas terrestres, onde as isóbatas, ou isobatimétricas, correspondem às curvas de nível do relevo, dando uma noção precisa da topografia do fundo e das cotas do relevo submarino. A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) publica uma série de **Cartas Batimétricas** especiais, de uso controlado, restrito aos nossos submarinos.

O navegante deve ser capaz de identificar nas **Cartas Batimétricas** as marcas principais do relevo submarino que possam ser usadas na navegação, tais como montanhas submarinas, escarpas, bancos oceânicos, “canyons” submarinos, picos submersos, fendas e fossas, além de outras feições importantes da topografia do fundo, como a plataforma continental, o talude continental e a margem continental (figura 38.20). Estes acidentes podem ser identificados através das informações do ecobatímetro, proporcionando excelentes elementos para auxiliar no posicionamento do navio.

A figura 38.21 mostra, na ilustração (a), o trecho de uma **Carta Batimétrica**, onde as isóbatas, traçadas a intervalos de 100 metros, correspondem às curvas de nível da topografia do fundo e indicam as cotas do relevo submarino. Na ilustração (b), é apresentada uma vista de perfil da seção indicada em (a), onde pode ser visto o cume de um monte submarino (ou banco oceânico) e um “canyon” a ele adjacente. A figura 38.22 mostra o Canyon de Salvador.

As **Cartas Batimétricas** apresentam, através das isóbatas, a topografia do fundo com um elevado grau de detalhe, o que as distingue das **Cartas Náuticas** convencionais, que proporcionam apenas uma visão geral do relevo submarino, pelo uso de isóbatas bastante espaçadas. Na figura 38.23, por exemplo, é apresentado um banco oceânico com 130 metros de profundidade; na ilustração (a), é mostrada a representação do banco em uma **Carta Náutica** convencional, onde estão traçadas apenas as isóbatas de 500 metros e 250 metros, além de indicado o cume do banco, a 130 metros de profundidade. Na ilustração (b), está mostrado o mesmo acidente, representado em uma **Carta Batimétrica**, onde estão traçadas as isóbatas com intervalo de 50 metros. A figura apresentada nessa carta mostra, de forma muito mais evidente, a configuração do mesmo acidente submarino, representando-o de maneira mais propícia para a **Navegação Batimétrica**.

A figura 38.24 mostra um trecho de uma **Carta Batimétrica** na qual o intervalo entre as isóbatas traçadas é de 1 metro. Note-se que a topografia do fundo é apresentada com uma grande riqueza de detalhes.

Figura 38.20 – Feições Principais do Relevo Submarino

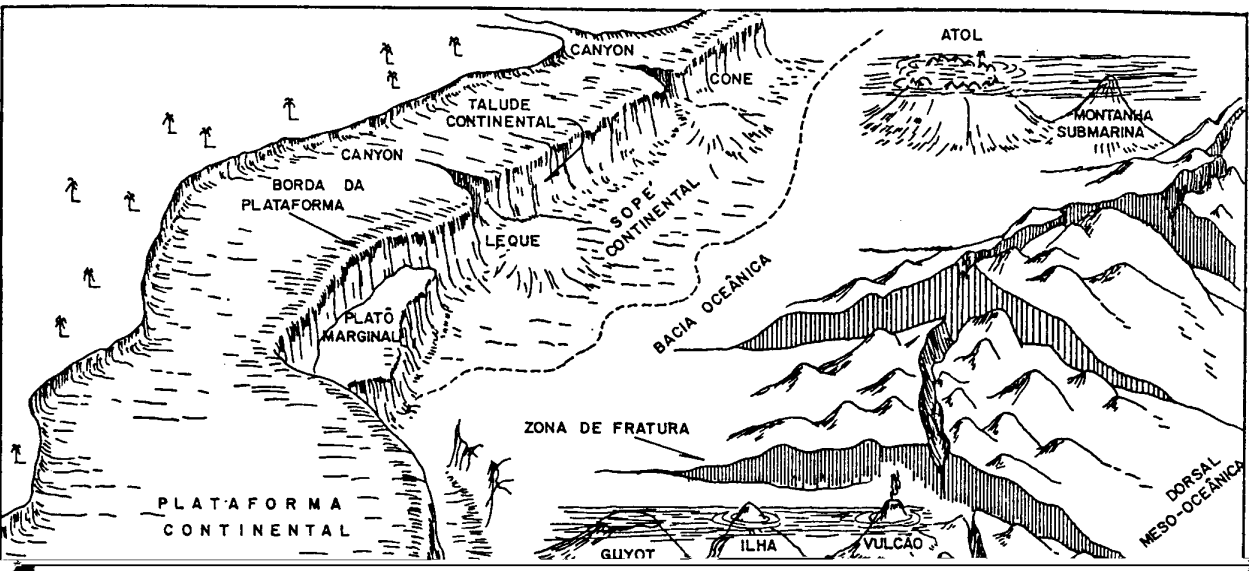
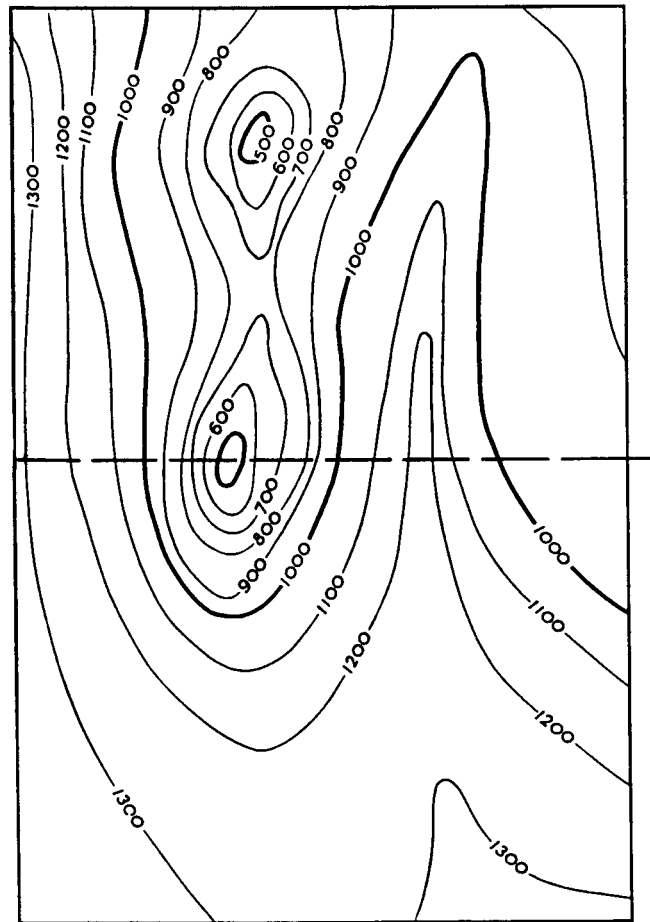


Figura 38.21 – Trecho de Carta Batimétrica e Perfil da Seção Indicada



(a)

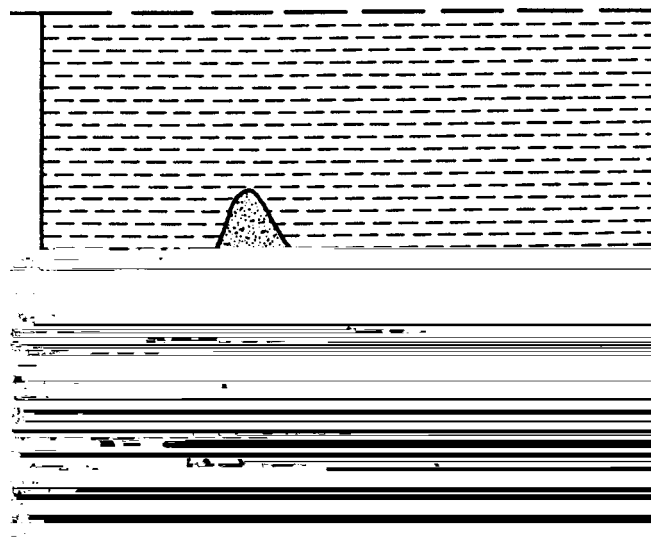


Figura 38.22 – Canyon de Salvador

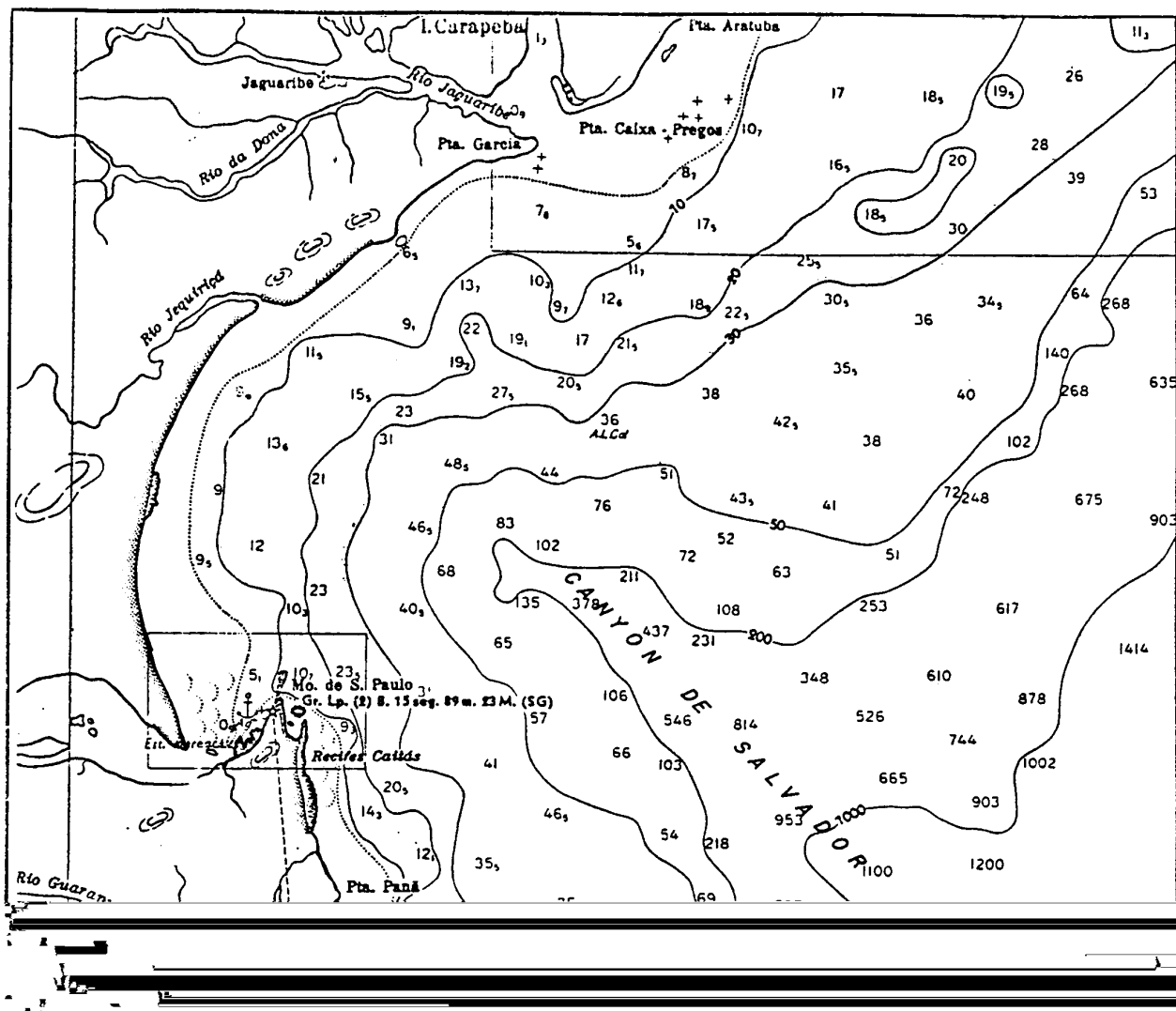
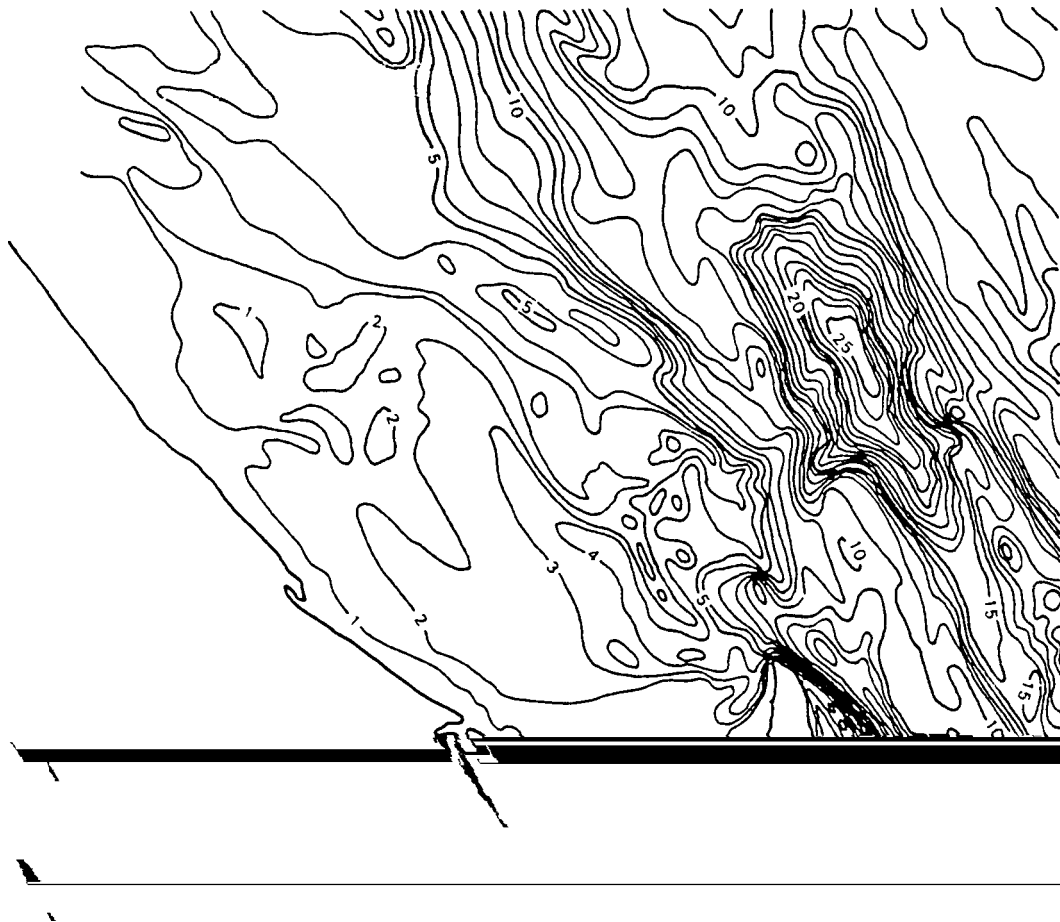


Figura 38.23 – Representação de um Acidente Submarino em uma Carta Náutica Convencional e em uma Carta Batimétrica



Figura 38.24 – Seção de uma Carta Batimétrica (Intervalo entre Isóbatas: 1 Metro)

38.9 NOÇÕES SOBRE INTERPRETAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DO ECOBATÍMETRO

Desde tempos imemoriais, uma das maiores preocupações do navegante tem sido evitar o encalhe do seu navio, ou embarcação. O prumo de mão é, provavelmente, o mais antigo instrumento de navegação. Com o passar dos anos, o prumo de mão evoluiu para a máquina de sondar, que podia ser usada em profundidades maiores. A base do prumo de mão ou do peso da máquina de sondar era côncava, de modo que pudesse ser “armada” com sebo ou sabão, proporcionando, assim, além da profundidade, uma amostra do sedimento do fundo, o que constituía mais uma informação para auxiliar na determinação da posição, ou para o fundeio (tensa = qualidade do fundo). Mesmo assim, as sondagens só podiam ser obtidas nas vizinhanças ou sobre a plataforma continental e a intervalos comparativamente longos, em virtude do tempo consumido para arriar e içar o prumo mecânico. Hoje, com o emprego do ecobatímetro, o navegante pode obter continuamente a sondagem, que pode ser apresentada graficamente, mostrando o perfil do fundo sobre o qual o navio se desloca (figura 38.25).

O prumo de mão, a máquina de sondar e o ecobatímetro foram apresentados com detalhes no Volume I deste Manual (Capítulo 11). Em resumo, o ecobatímetro gera uma onda acústica submarina e mede o intervalo de tempo entre a transmissão do sinal e a

recepção do eco refletido pelo fundo; conhecendo-se a velocidade de propagação do som na água do mar, este intervalo de tempo é convertido em uma leitura de profundidade, por meio da fórmula:

$$\text{prof} = C \cdot \frac{t}{2}$$

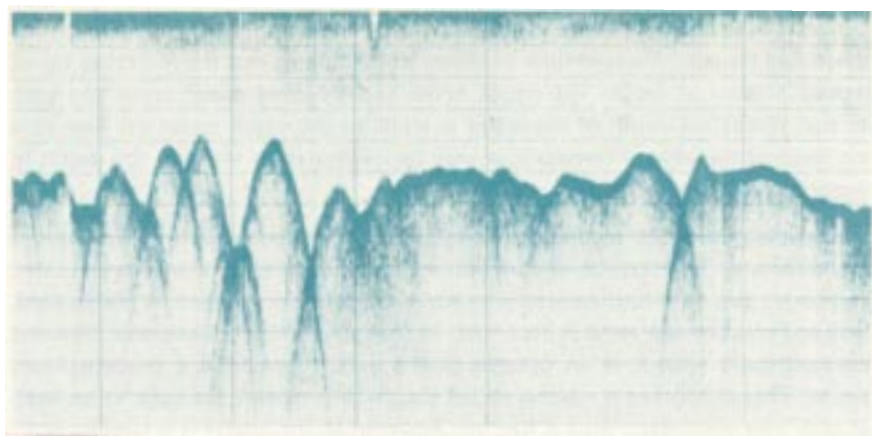
Onde:

C = velocidade de propagação do som na água do mar;

t = intervalo de tempo entre a transmissão do sinal acústico e a recepção do eco refletido no fundo; e

prof = profundidade do local.

Figura 38.25 – Registro do Ecobatímetro (Perfil do Fundo)



Na figura 38.26, por exemplo, o sinal acústico é transmitido quando o mostrador rotativo do ecobatímetro indica zero. O equipamento, então, mede o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão do sinal e a recepção do eco refletido pelo fundo, obtendo: $t = 53.333$ ms. Sabendo-se que a velocidade de propagação do som na água do mar é 1.500 m/s, o ecobatímetro calcula a profundidade local:

$$\text{prof} = 1.500 \times \frac{0,053333}{2} = 40 \text{ m}$$

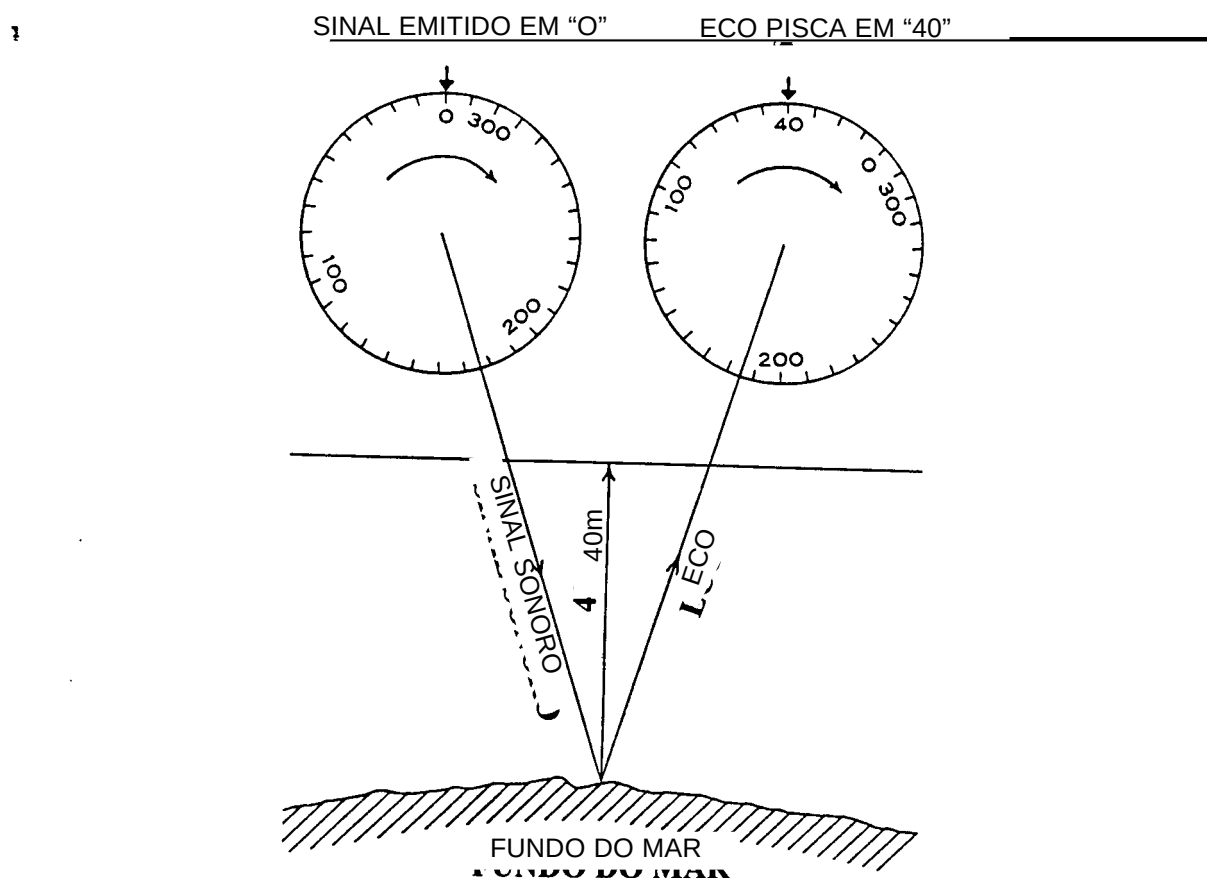
Assim, o mostrador piscará na graduação 40, indicando a profundidade local.

Na realidade, a velocidade do som na água varia com a temperatura, salinidade e pressão (profundidade). Esta variação, entretanto, não é muito grande e os ecobatímetros, em sua maioria, são calibrados para uma velocidade do som de 4.800 pés/s ($@1.463$ m/s). No mar, a velocidade de propagação do som é quase sempre maior que este valor calibrado e o erro introduzido na indicação do ecobatímetro proporciona maior segurança ao navegante (ou seja, o equipamento indicará profundidades ligeiramente menores que as verdadeiras), exceto no caso de água doce ou extremamente fria.

Alguns ecobatímetros operam na faixa audível do espectro sonoro (de cerca de 20 a 20.000 Hz). Entretanto, a tendência é usar frequências mais altas, da faixa ultra-sonora, de modo a reduzir as interferências causadas pelos ruídos do navio.

O transdutor, localizado no fundo do navio, próximo da quilha, transmite o sinal acústico quando eletricamente excitado. A energia sonora usada para determinar a profundidade é projetada sob a forma de um cone. A maioria dos ecobatímetros de navegação gera um cone com um abertura de cerca de 60°; a área do fundo coberta pelo cone sonoro é função da profundidade e, em águas profundas, pode ser bastante grande. O eco, refletido pelo fundo, é recebido pelo transdutor, convertido em energia elétrica e amplificado. O intervalo de tempo medido entre a emissão do pulso e a recepção do eco é, então, transformado em profundidade e apresentado visualmente. Em geral, o ecobatímetro indica a profundidade abaixo da quilha, de modo que a profundidade real será igual à profundidade medida somada ao calado do navio. Alternativamente, o equipamento pode ser calibrado de maneira a fornecer a profundidade medida desde a superfície da água, pela introdução automática do calado do navio na altura do ponto onde está instalado o transdutor.

Figura 38.26 – Determinação da Profundidade pelo Ecobatímetro



A indicação da profundidade pode ser analógica (por meio de um neon que pisca na graduação do mostrador correspondente ao fundo medido), digital, através de registro gráfico em papel (figura 38.27), ou utilizando uma tela de cristal líquido (LCD). Os ecobatímetros equipados com registrador gráfico ou com tela de cristal líquido são muito úteis na navegação, pois fornecem o perfil do fundo na área onde trafega o navio. Um perfil de fundo típico foi mostrado na figura 38.25.

Em teoria, os ecos são refletidos pelo fundo de todos os pontos varridos pelo cone sonoro; na realidade, entretanto, os primeiros ecos que retornam tendem a mascarar os ecos posteriores. O navegante deve estar ciente que o primeiro retorno virá da porção do

fundo que estiver mais próxima e que esta porção não está sempre diretamente abaixo do navio. Quando isto ocorre, o fenômeno é denominado **eco lateral**. Na figura 38.28, por exemplo, a profundidade indicada pelo ecobatímetro (abertura do cone de emissão = 60°), que não corresponderia ao ponto diretamente abaixo do transdutor, seria de 462m, enquanto que a profundidade do cume da montanha submarina é de 400 metros. Neste caso, o ecobatímetro está indicando um **eco lateral**.

Em águas rasas, podem ocorrer **retornos múltiplos** quando o fundo é um bom refletor sonoro (fundo duro). O primeiro eco retorna do fundo e é registrado como profundidade, mas, além disso, o eco reflete-se novamente para baixo, a partir da superfície da água, torna a refletir-se no fundo e retorna ao equipamento. A figura 38.29 mostra um exemplo de dupla reflexão: o traço superior representa o fundo verdadeiro, enquanto o inferior, indicando o dobro da profundidade, é causado pelo retorno múltiplo. A redução do ganho do equipamento normalmente elimina as indicações de eco múltiplo.

Outro fenômeno que pode dificultar a interpretação das informações do ecobatímetro é o surgimento de um fundo falso, suspenso na água, entre a superfície e o fundo verdadeiro (figura 38.30). Isto é causado por ecos refletidos pela camada de dispersão profunda ("**deep scattering layer**"), formada por zooplânctons e outros minúsculos organismos marinhos. Durante o dia, a camada de dispersão profunda, também denominada de fundo fantasma ("**phantom bottom**"), é encontrada em profundidades de cerca de 400 metros; à noite, normalmente, ela se aproxima da superfície. Às vezes a camada é tão densa que chega a mascarar os ecos do fundo verdadeiro.

Cardumes de peixes também refletem o sinal sonoro, tornando os ecobatímetros (em especial os que usam frequências mais altas) particularmente úteis na pesca. Uma descontinuidade marcante no meio líquido pode causar a reflexão do som; assim, um ecobatímetro pode, muitas vezes, detectar o limite entre uma camada de água doce que se sobrepõe à água salgada mais pesada.

Um fundo rochoso reflete quase todo o sinal acústico, enquanto fundo de lama tende a absorver a energia sonora, refletindo, assim, um eco mais fraco. Uma camada de lama ou silte sobre um fundo rochoso normalmente proporciona dois ecos. Na figura 38.31, por exemplo, verifica-se, no registro do ecobatímetro, o fundo de lama e, mais abaixo, o fundo duro, no canal de acesso a Florianópolis.

O ar é refletor perfeito das ondas sonoras. Por isso, com o navio operando máquinas a ré, o ecobatímetro muitas vezes perde a indicação, em virtude das bolhas de ar que passam por baixo do transdutor.

Uma outra possível fonte de erro na indicação do ecobatímetro é o balanço e, em menor extensão, o caturro do navio. A instalação do transdutor, na maioria dos casos, é fixa (não estabilizada), causando a inclinação do cone de transmissão, com relação à vertical, conforme o navio se movimenta. Este efeito também deve ser levado em conta pelo navegante, como mostrado na figura 38.32. Somente um ecobatímetro com transdutor estabilizado continuará emitindo na vertical, mesmo com o balanço e o caturro do navio, como pode ser visto na ilustração da direita dessa figura.

Em virtude da emissão do sinal acústico em um feixe cônico, com uma determinada largura (abertura), os acidentes do relevo submarino em grandes profundidades serão

representados com uma forma “hiperbólica” e assim, nessa situação, o perfil registrado pelo ecobatímetro pode diferir um pouco do perfil real do fundo, conforme mostrado na figura 38.33. Se o fundo é bastante irregular, poderá aparecer no registro do ecobatímetro um padrão de diversas “hipérboles” superpostas umas às outras, como ilustrado na figura 38.34. A forma “hiperbólica” é função da largura do feixe emitido, da profundidade local e da velocidade da embarcação. As múltiplas “hipérboles” são devidas, em grande parte, aos **ecos laterais** produzidos pelo cone sonoro. O efeito torna-se ainda mais acentuado com o balanço da embarcação.

Quando interpretando o registro do ecobatímetro, o navegante deve lembrar que as profundidades mínimas indicadas no topo de cada “hipérbole” podem não ser aquelas diretamente abaixo da quilha e que, portanto, o perfil registrado pode não corresponder exatamente ao perfil do fundo sobre o qual se desloca o navio.

Os ecos hiperbólicos, entretanto, ocorrem apenas em grandes profundidades. A figura 38.35 mostra o registro do ecobatímetro indicando fundos irregulares nas proximidades da borda da plataforma continental a sudeste de Cabo Frio (na posição Latitude 23° 43,7' S e Longitude 041° 38,3' W). Note-se a ausência de ecos hiperbólicos.

Figura 38.27 – Ecobatímetro com Registro Gráfico

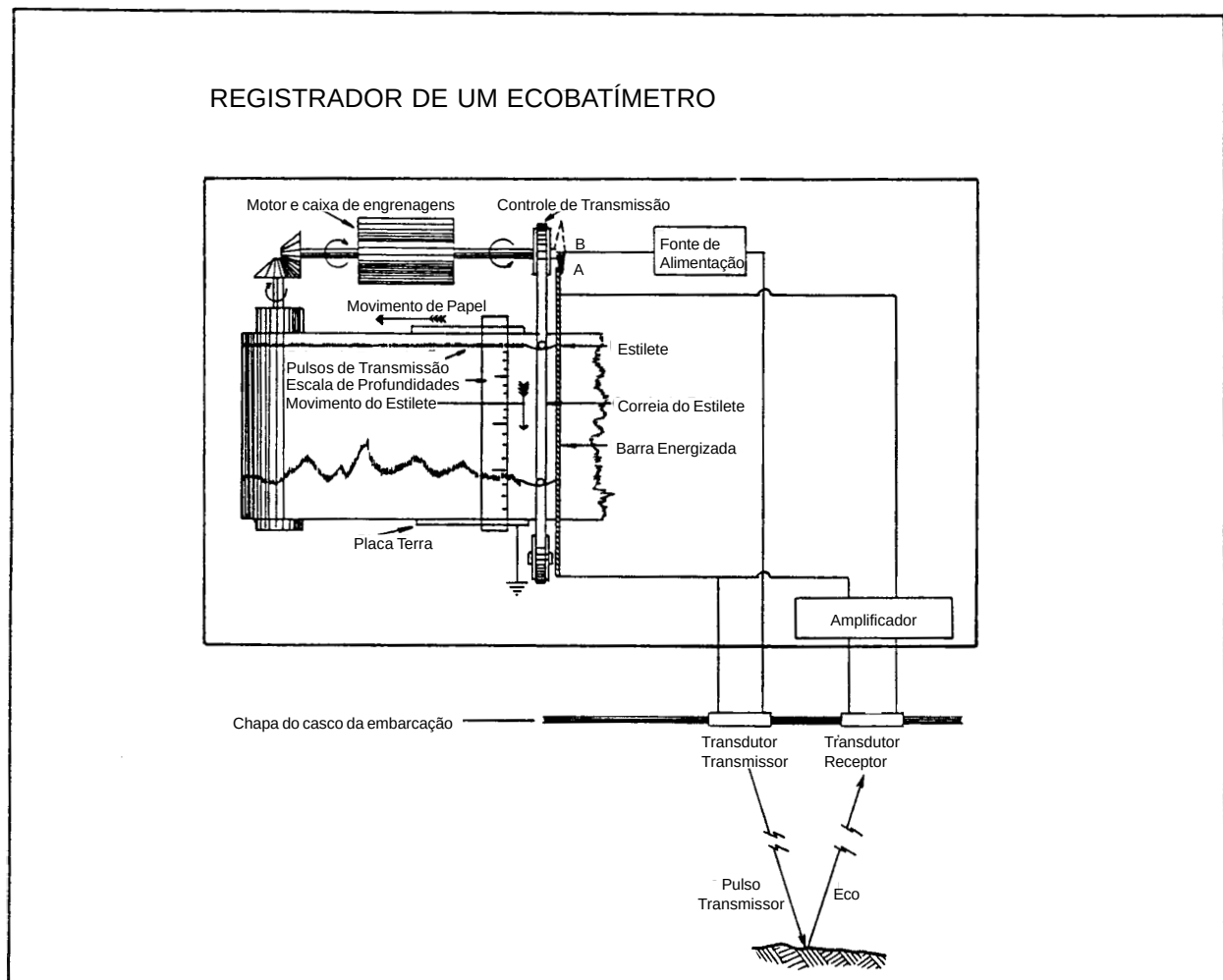


Figura 38.28 – Eco Lateral

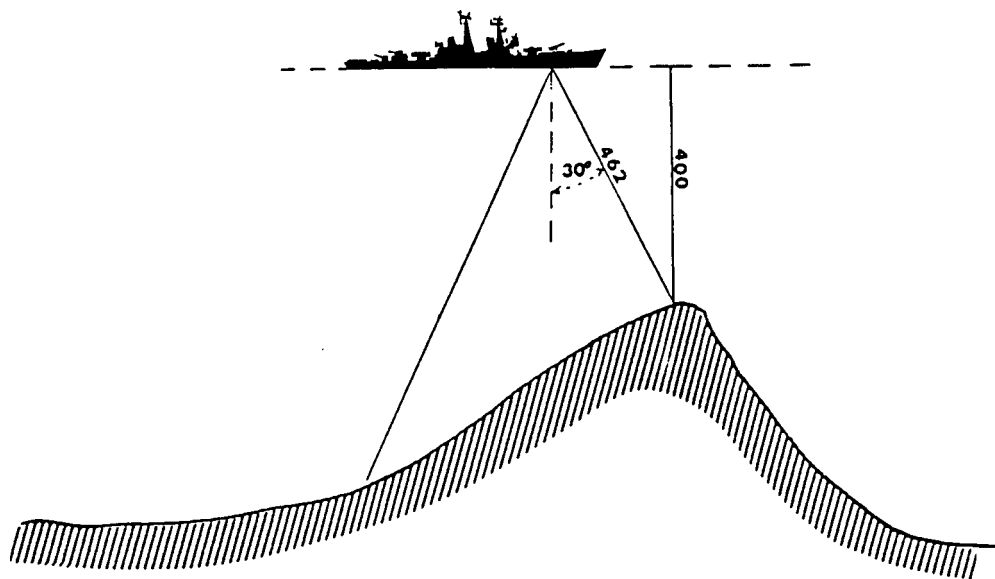


Figura 38.29 – Eco Duplo Indicado no Registrador do Ecobatímetro

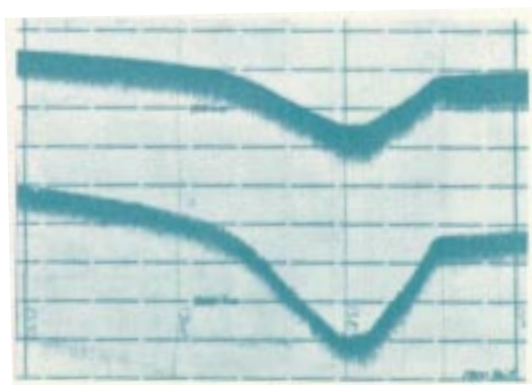


Figura 38.30 – Registro do Ecobatímetro Mostrando “Deep Scattering Layer” (DSL) entre o Fundo e a Superfície do Mar

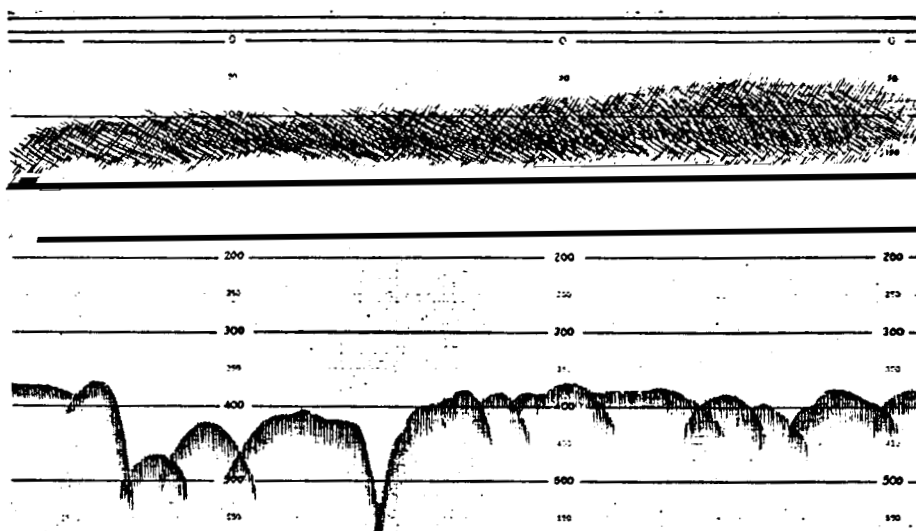


Figura 38.31 – Registro do Ecobatímetro Mostrando Fundo de Lama e, mais Abaixo, Fundo Duro (Canal de Acesso a Florianópolis)

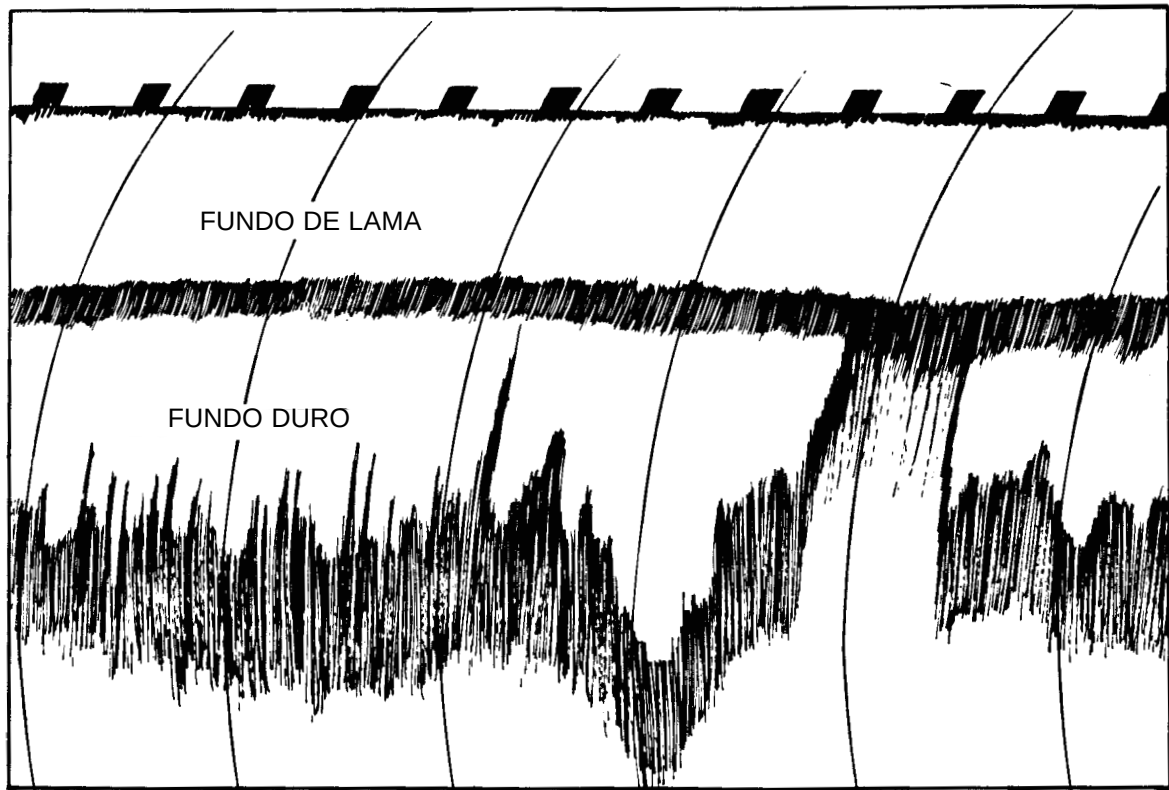


Figura 38.32 – Efeitos do Balanço e do Caturro do Navio sobre as Indicações do Ecobatímetro

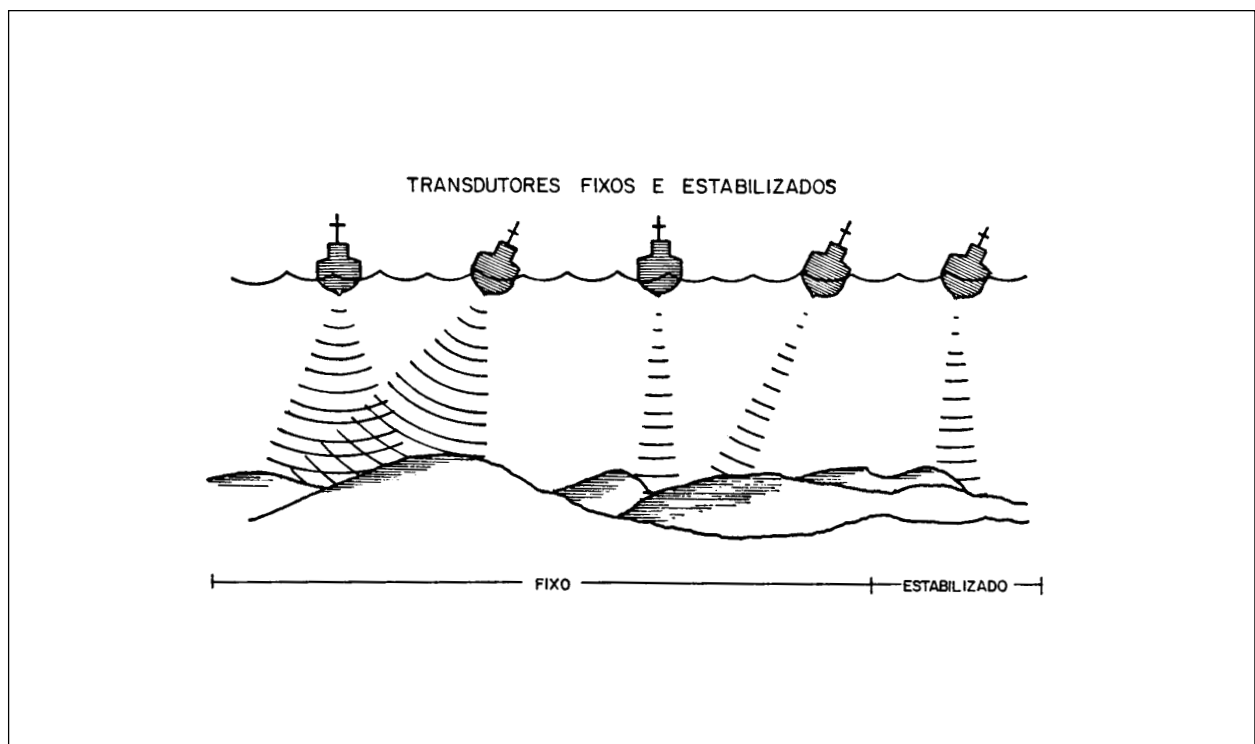
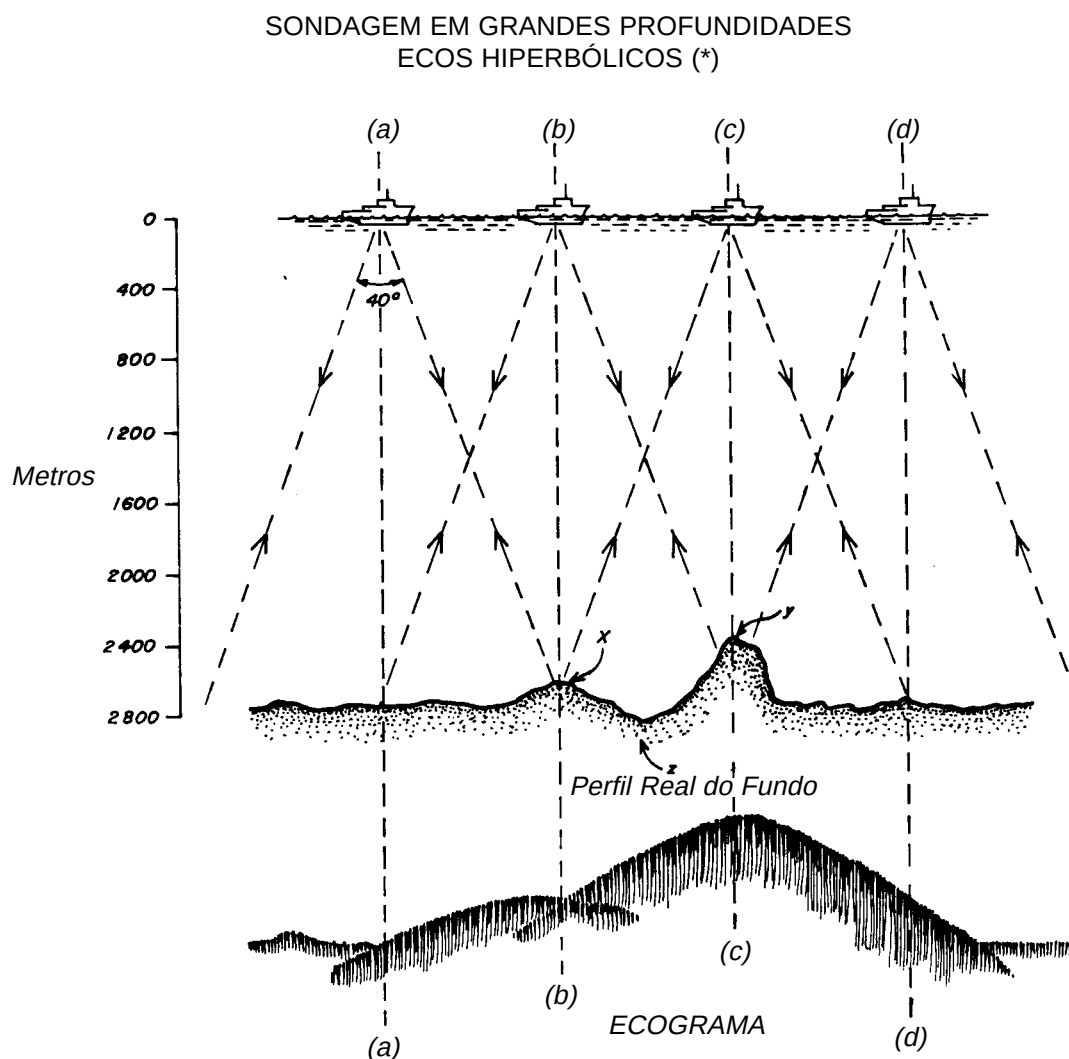
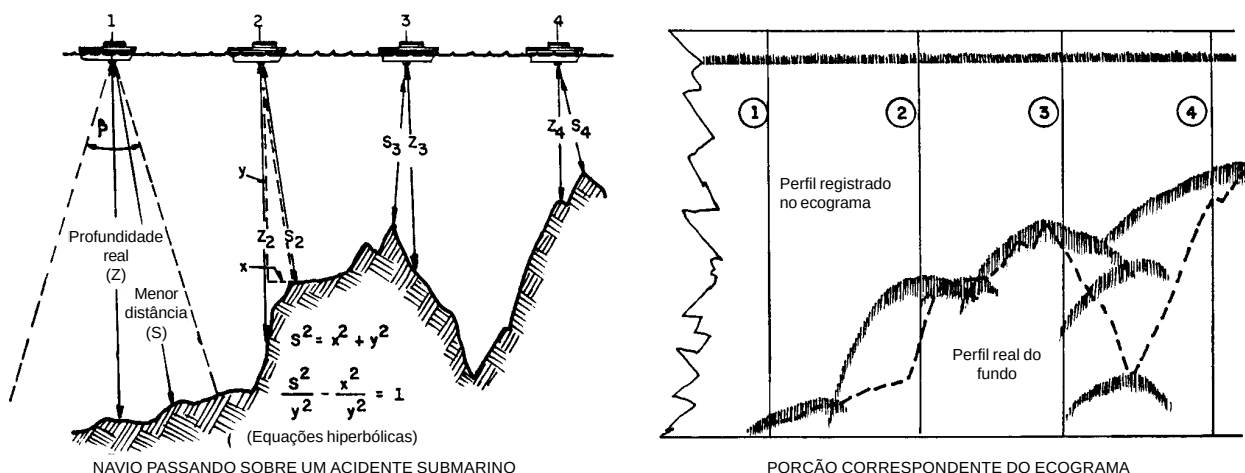


Figura 38.33 – Ecos Hiperbólicos (Grandes Profundidades)



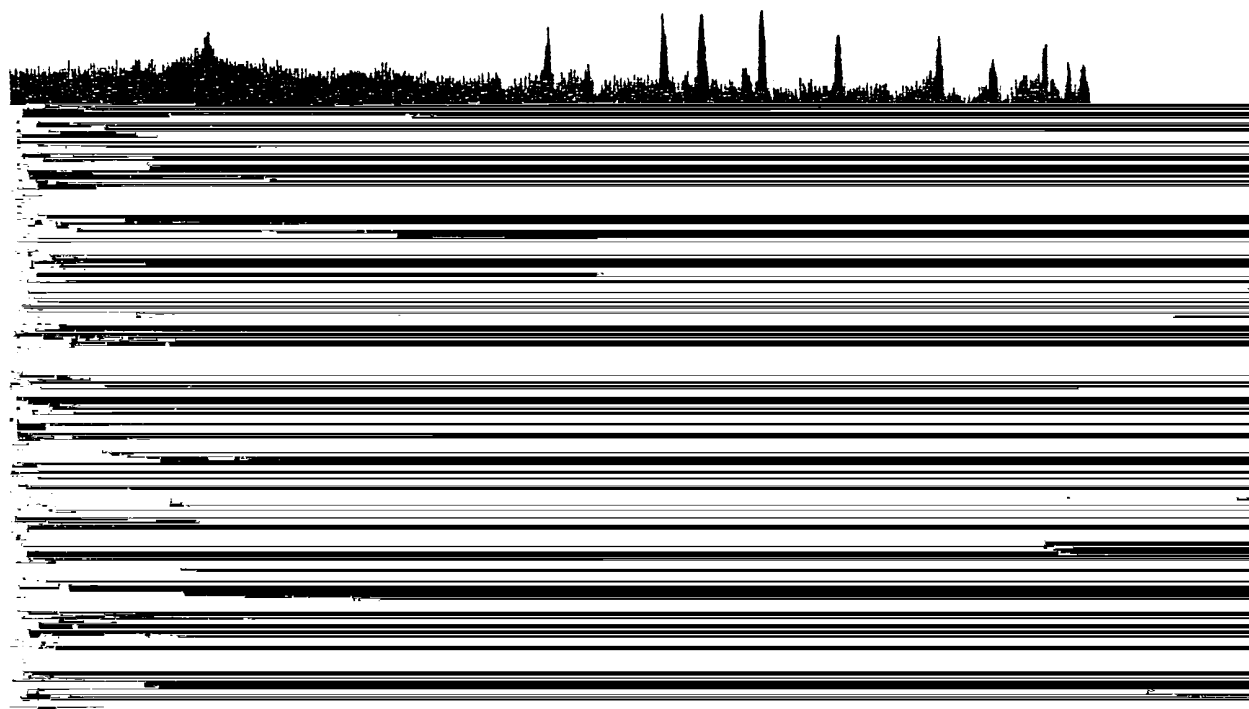
(*) OS ECOS RECEBIDOS SÃO VERDADEIRAS HIPÉRBOLES APENAS EM TEORIA.
NA PRÁTICA, ENTRETANTO, SUA FORMA É UMA CURVA SEM REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA.

Figura 38.34 – Registro Oriundo de um Fundo Irregular (Grandes Profundidades)



O EFEITO DA LARGURA DO FEIXE DE EMISSÃO DO TRANSDUTOR NO REGISTRO DO ECOBATÍMETRO

Figura 38.35 – Fundos Irregulares nas Proximidades da Borda da Plataforma a SE de Cabo frio



38.10 TÉCNICAS DE NAVEGAÇÃO BATIMÉTRICA

Existem várias técnicas para controle dos movimentos e determinação da posição do navio na **Navegação Batimétrica**. A mais simples é a denominada “correr uma isóbata” ou “correr uma linha de sondagem” (“running a sounding”), que consiste em seguir uma isóbata representada na Carta Náutica. No extrato de carta mostrado na figura 38.35a está ilustrado como uma isobatimétrica (ou linha de sondagem) pode ser seguida para conduzir o navio com segurança na direção desejada, principalmente sob visibilidade restrita ou quando o único equipamento de navegação disponível é o ecobatímetro. Neste exemplo, o navegante decidiu seguir a isóbata de 50 metros para navegar das proximidades do Rio de Janeiro até o través da Ponta de Saquarema. Ao alcançar a profundidade de 50 metros (lida no ecobatímetro e devidamente corrigida, se for o caso), o navio governará no rumo geral ENE; se a profundidade diminuir, o rumo será corrigido para BE; se aumentar, a correção será para BB, de modo que se navegue mantendo a profundidade constante em 50 metros, ou seja, “correndo a isobatimétrica de 50 metros”. Quando se usa este método de navegação em visibilidade restrita, é prudente reduzir a velocidade, para dar tempo de reagir a uma mudança rápida de profundidade que ocorrer inesperadamente; além disso, em baixa velocidade aumenta-se a razão de obtenção de profundidades e reduzem-se os ecos espúrios, facilitando a manobra de seguir a isóbata escolhida.

Outra técnica bastante empregada é a do transporte das isóbatas, que requer, para sua aplicação, uma folha de papel vegetal ou plástico transparente.

Na figura 38.36, por exemplo, temos uma representação do relevo do fundo do mar, com as isóbatas de 100, 110, 120, 130 e 140 metros traçadas na carta sobre a qual está sendo conduzida a navegação. A linha de rumo do navio também é apresentada.

Figura 38.35a

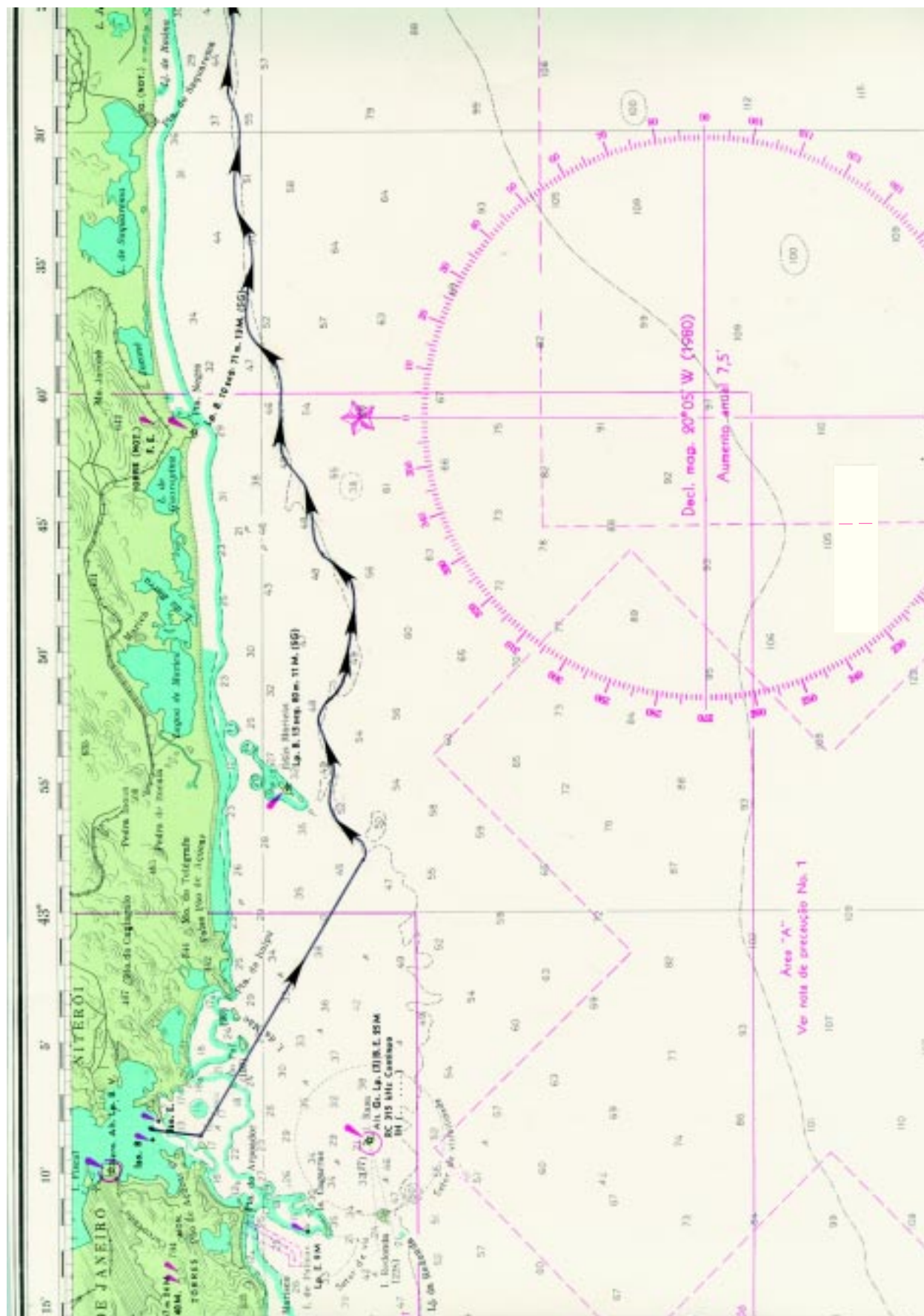
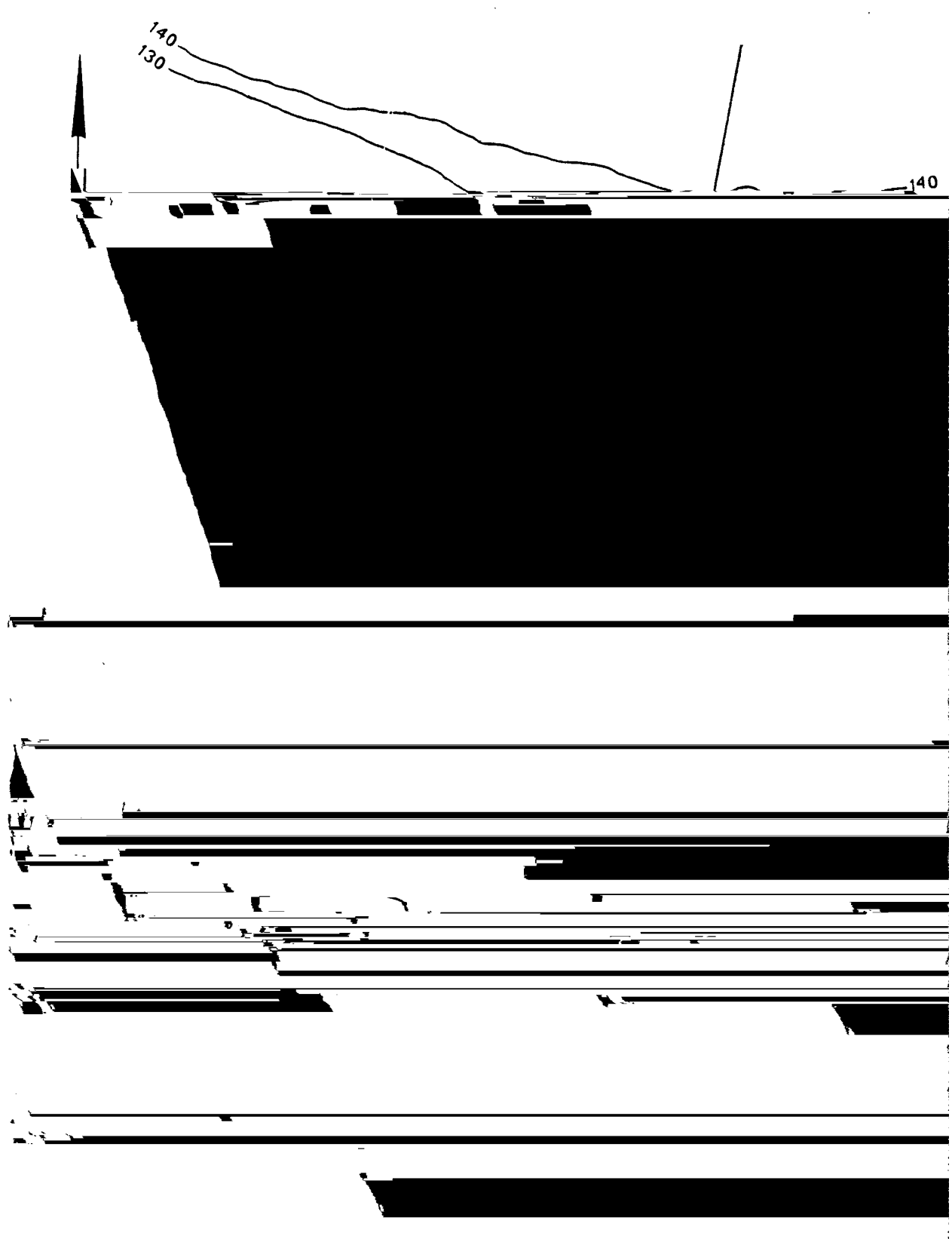


Figura 38.36 – Trecho da Carta, com as Isóbatas Traçadas de 10 em 10 Metros, Indicando a Topografia do Fundo



Para determinar a posição por transporte de isóbatas, o navegante registra os instantes em que o ecobatímetro indica sondagens de valores iguais às isóbatas traçadas na carta. Neste caso:

HORA	PROFUNDIDADE
1600	100 m
1604	110 m
1616	120 m
1628	130 m
1632	140 m

A primeira posição estimada (1600 horas) é marcada sobre a isóbata de 100 metros. Após isso, o navegante plota sobre a linha de rumo os pontos estimados das sondagens seguintes (1604, 1616, 1628 e 1632 horas), conforme mostrado na figura 38.36.

Copiam-se, então, as isóbatas na folha de papel vegetal ou plástico transparente. Em seguida, a primeira isóbata (100 m) é transportada da distância navegada entre 1600 horas e 1632 horas, sobre a linha de rumo; a segunda (110 m) é transportada da distância navegada entre 1604 e 1632 horas, e assim por diante. O ponto de cruzamento das isóbatas transportadas com a isóbata de 140 m será a posição do navio às 1632 horas, como indicado na figura 38.37.

Com duas isóbatas teremos, quase sempre, cruzamentos em mais de um ponto. Com três isóbatas consegue-se, na maioria dos casos, um triângulo de incerteza. Uma quarta isóbata confirmaria a posição. No exemplo, foram usadas cinco isóbatas.

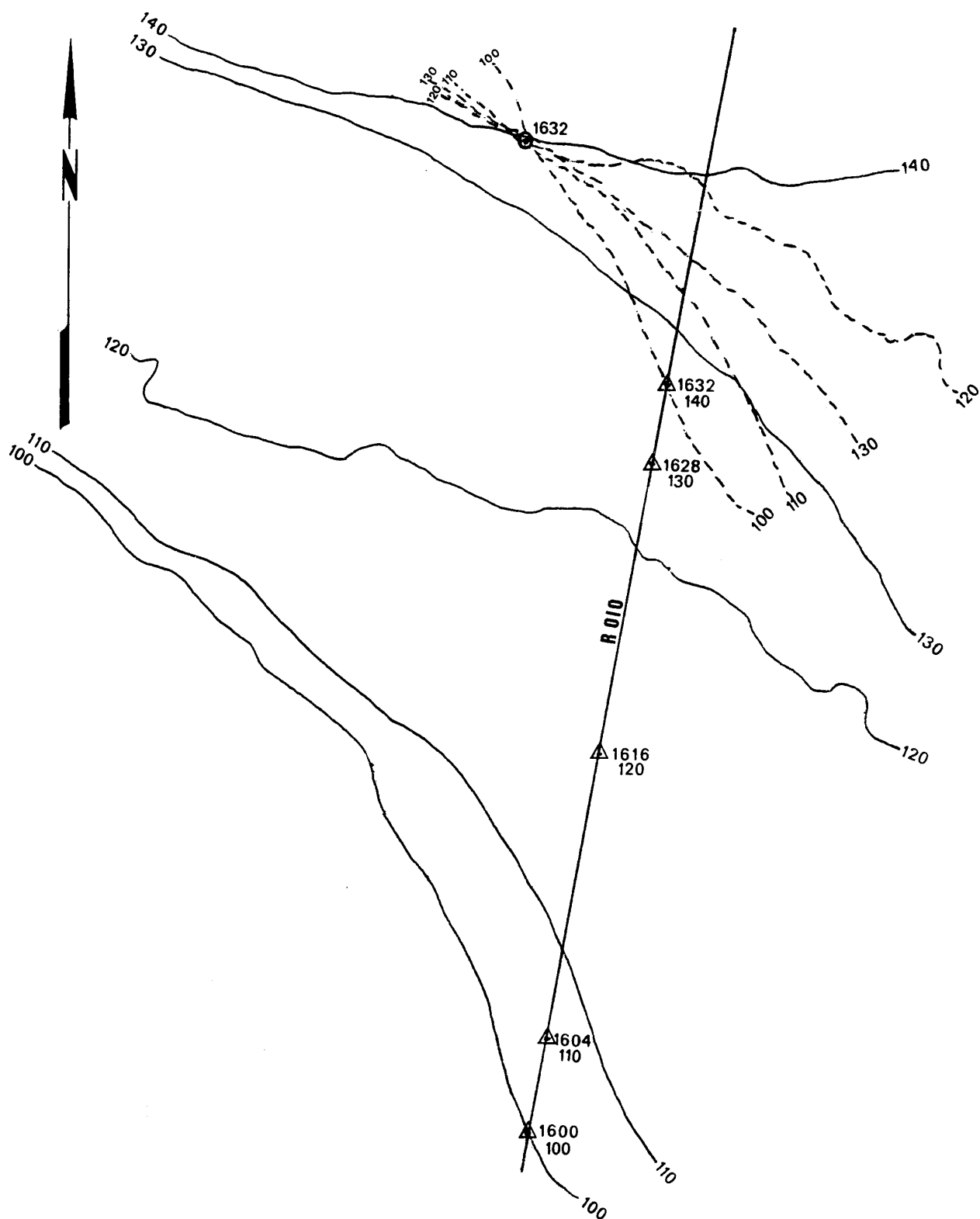
Para o traçado das isóbatas transportadas, elas são primeiramente copiadas em papel vegetal ou plástico transparente. Depois, avançadas da distância navegada, sobre a linha de rumo, paralelamente a si mesmas. Calcando um pouco o lápis sobre o “overlay” transparente, consegue-se transferir para a carta o trecho de isóbata que vai cruzar com a última isóbata usada (no exemplo, a de 140 m às 1632 horas).

Uma variante desta técnica consiste em, após registrar os instantes em que o ecobatímetro indica sondagens de valores iguais às isóbatas traçadas na carta, plotar, em uma folha de papel vegetal ou plástico transparente, uma linha na direção do rumo do navio e, sobre ela, marcar as posições estimadas correspondentes aos instantes obtidos (levando em conta a velocidade em que se navega), anotando ao lado de cada ponto a profundidade e a hora correspondentes. Após terminado este processo, o “overlay” transparente é colocado sobre a carta, na vizinhança da posição estimada do navio, com a linha de rumo orientada na direção apropriada. Move-se, então, o “overlay” sobre a carta, paralelamente a si mesmo (isto é, com a linha de rumo sempre orientada na direção correta), até que as posições plotadas no papel coincidam com as isóbatas correspondentes traçadas na carta. Desta maneira, a posição do navio ao cruzar a última isóbata considerada pode, normalmente, ser determinada com boa precisão.

Tanto esta técnica quanto a anterior não devem ser usadas quando a direção do deslocamento é paralela às isóbatas, ou quando o relevo submarino é pouco acidentado e apresenta uma declividade uniforme (ou seja, quando as isóbatas são mais ou menos paralelas entre si e espaçadas de forma aproximadamente igual).

O cume de um monte submarino isolado, localizado por meio do ecobatímetro, também pode ser usado para determinar a posição do navio.

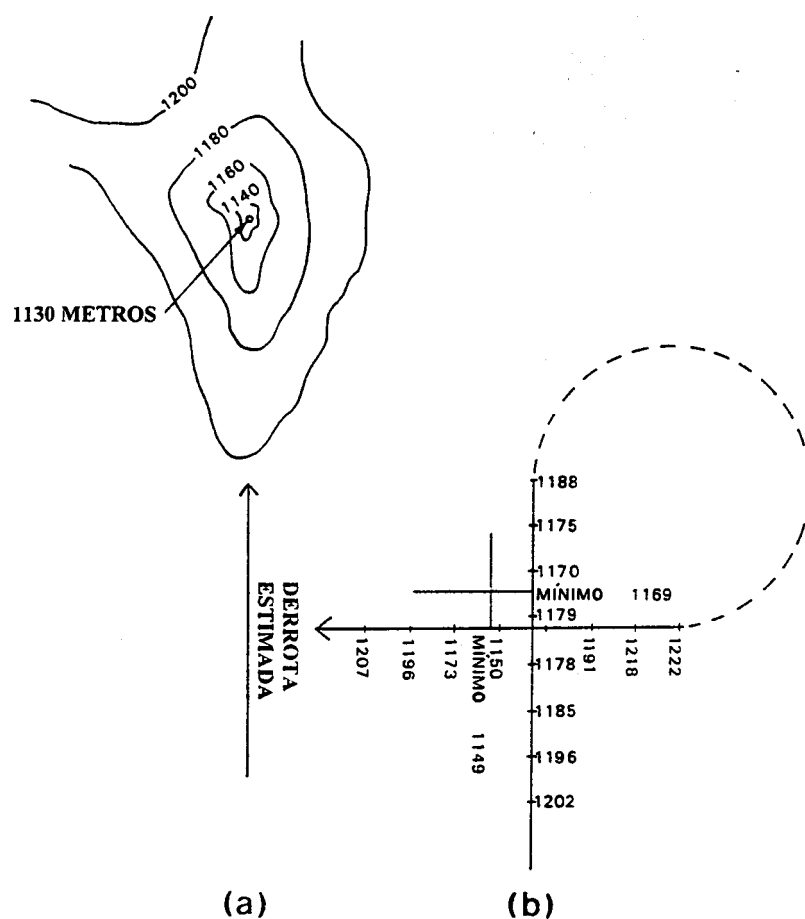
Figura 38.37 – Ponto por Transporte de Linhas de Igual Profundidade



Quando não se passa diretamente sobre o tope do acidente, pode ser usada a técnica ilustrada na figura 38.38. Quando o navio se aproxima do monte submarino isolado, determina-se, com a melhor precisão possível, uma posição e, então, ruma-se direto para o cume do banco. A figura 38.38a mostra as isóbatas traçadas em torno do cume de um monte submarino, cuja menor profundidade é 1.130 metros. O navio determinou sua posição ao Sul do banco e desfechou o rumo 000°, dirigindo-se diretamente para o tope do acidente. No entanto, como mostrado na figura 38.38b, conforme o navio se aproxima do monte submarino, registrando as sondagens a cada minuto, a menor profundidade obtida foi 1.169 metros. Da posição correspondente à sondagem mínima traça-se uma perpendicular ao rumo do navio (ver a figura 38.38b). À medida que as profundidades passam a aumentar, fica óbvio que o navio já passou do cume do banco; guina-se, então, de 90° com relação ao rumo original, assumindo-se, neste exemplo, o rumo de 270°, cruzando novamente sobre o acidente, de modo a passar o mais próximo possível da posição do cume. As sondagens são, de novo, anotadas a cada minuto. No segundo rumo, a sondagem mínima obtida foi 1.149 metros. Da posição correspondente, traça-se uma outra perpendicular ao rumo.

A interseção das duas perpendiculares traçadas pelas profundidades mínimas determina a posição do cume do monte submarino relativa às plotagens feitas, ou seja, com referência à navegação estimada do navio. A direção e a distância que separam esta interseção da posição do cume plotada na carta representa o deslocamento da derrota estimada. Assim, a derrota pode ser ajustada e a posição do navio determinada. Este método de localização do cume de um monte submarino pode ser usado com um cone sonoro de qualquer abertura. Essa técnica é muito pouco usada em comparação com as anteriormente apresentadas e seu uso se prende mais à verificação de acidentes isolados.

Figura 38.38 – Determinação da Posição pelo Cume de um Monte Submarino



A PRÁTICA DA NAVEGAÇÃO. NORMAS PARA A NAVEGAÇÃO DOS NAVIOS DA MB

39.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo procura resumir, de forma prática e clara, o acúmulo de experiências e conhecimentos que, através do tempo, obtiveram os navegantes, tanto ao largo do nosso extenso litoral, como nos demais oceanos do mundo. Seu conteúdo é, de certa forma, uma síntese dos capítulos anteriores; além disso, inclui as “Normas para a Navegação” vigentes na Marinha do Brasil e apresenta um epítome da doutrina recomendada para navegação, entendida como o conjunto de métodos e técnicas a serem aplicados, dos padrões de precisão adequados, das regras para seleção e interpretação das informações disponíveis, e das precauções a serem observadas. Lista, ainda, uma série de notas, lembretes e providências a serem tomadas pelos oficiais que assumem a função de Encarregado de Navegação nos navios da MB.

Se tentássemos sintetizar em uma só frase todo o seu conteúdo, poderíamos fazer aos Encarregados de Navegação, assim como aos demais navegantes, a seguinte advertência:

“JAMAIS CORRA UM RISCO QUE POSSA SER EVITADO”

39.2 PROVIDÊNCIAS DO ENCARREGADO DE NAVEGAÇÃO NO RECEBIMENTO DO NAVIO OU DA INCUMBÊNCIA

Neste item são enumeradas as providências que o Encarregado de Navegação deverá tomar, ao assumir a função, com relação às cartas náuticas, às publicações de segurança

da navegação, aos instrumentos e equipamentos, e aos demais aspectos dos serviços de Navegação e Meteorologia a bordo.

a. RECEBIMENTO DE NAVIO NOVO (OU RECOMISSIONADO)

Quando se tratar de recebimento de navio novo ou recomissionado, que, portanto, não disponha de nenhum equipamento de navegação e meteorologia, o Encarregado de Navegação deverá, como providências iniciais:

(1) Examinar os planos do navio, verificando a disposição de tudo o que se referir à Navegação e à Meteorologia, de modo a serem escolhidos os locais de instalação, utilização, armazenamento e guarda dos instrumentos destinados a esses serviços;

(2) verificar se a disposição dos equipamentos recebidos com o navio, no Passadiço, Camarim de Navegação, Tijupá, mastro e outros compartimentos e espaços a bordo, é conveniente e adequada;

(3) solicitar à DHN o estabelecimento da dotação dos equipamentos e das equipagens de Navegação e de Meteorologia do navio; verificar se a dotação é adequada e, se for o caso, solicitar acréscimos ou alterações;

(4) providenciar a colocação de estante no compartimento destinado a servir como Camarim de Navegação, para guarda das publicações de pronto uso, tais como: Roteiros, Lista de Faróis, Lista de Sinais Cegos, Lista de Auxílios-Rádio, Tábuas para Navegação Astronômica, Tábuas das Marés, Almanaque Náutico, Catálogo de Cartas e Publicações, RIPEAM, Manuais de Navegação, Carta 12000 (INT-1), etc.;

(5) providenciar a colocação de uma mesa/mapoteca, no Camarim de Navegação, para guarda da andaina de cartas e para os trabalhos de plotagem e traçado da derrota, atualização de cartas e publicações, etc.;

(6) instalar armário de cronômetros no Camarim de Navegação, com alojamentos adequados para os cronômetros de bordo, de modo a protegê-los de choques, vibrações e variações bruscas de temperatura;

(7) providenciar a instalação, próximo da mesa de cartas do Camarim de Navegação e da mesa de plotagem do Passadiço, de: 2 relógios de antepara (Hora Legal e Hora Média em Greenwich-HMG), repetidora da giro, repetidora do odômetro, repetidora do anemômetro, repetidora do radar de navegação, indicador do ecobatímetro (mestra no Camarim de Navegação e remoto no Passadiço), barômetro e termômetro;

(8) estudar a colocação, no Passadiço, dos quadros “Regras de Governo e Navegação”, “Balizamento”, “Sinais Sonoros e Luminosos”, “Luzes e Marcas”, “Classificação das Nuvens”, “Escala Beaufort e Estado do Mar”, etc., de modo que o Oficial de Quarto os tenha sempre à vista e sejam de fácil consulta; verificar a possibilidade de instalar tais quadros, também, no Camarim de Navegação;

(9) estudar os circuitos das luzes de navegação, de marcha, de avaria, de restrição de manobra, de reboque, de posição, de cerimonial e de iluminação das agulhas; estudar a localização das caixas de alimentação e das caixas de fusíveis, verificando se as luzes atendem às especificações do RIPEAM quanto à intensidade, ao alcance, aos setores e às cores; verificar se as luzes de navegação possuem circuitos de alimentação em emergência (para o caso de avaria no sistema elétrico do navio) e dispositivo para troca automática de

lâmpada, no caso de avaria (queima) da lâmpada em uso; verificar se estão instalados os sinais luminosos opcionais, conjugados com os sinais sonoros de manobra;

(10) verificar se o navio dispõe das marcas diurnas previstas no RIPEAM e das bandeiras do Código Internacional de Sinais (CIS), necessárias às fainas de Navegação e Meteorologia;

(11) instalar alto-falante, ligado à Estação-Rádio, para recepção de sinais horários no Camarim de Navegação;

(12) instalar um quadro para registro do rumo verdadeiro e magnético, próximo ao timoneiro e à repetidora de governo;

(13) verificar o sistema de comunicações entre o Passadiço e o Camarim de Navegação, asas do Passadiço (repetidoras), Tijupá, Praça de Máquinas, PCI, Central de CAV, Governo a Ré e Câmara;

(14) providenciar a instalação de relógios de antepara nos compartimentos de bordo (Passadiço, Camarim de Navegação, Estação de Sinais, CIC/COC, Estação-Rádio, Camarim de Cifras, Câmara, Praça-d'Armas, refeitórios, Central de CAV, compartimentos da máquina, Máquina do Leme, etc.), pois o Encarregado de Navegação é responsável pelo serviço da hora a bordo;

(15) providenciar a instalação de caixas para armazenamento de binóculos com o navio em viagem (no Passadiço e Tijupá/Estação de Sinais);

(16) providenciar a instalação de uma mesa no Passadiço, com uma reprodução ampliada da rosa de manobra, sob tampa de acrílico, para resolução de problemas de interceptação e prevenção de colisão no mar;

(17) providenciar iluminação adequada para a mesa de cartas e para a mesa de plotagem do passadiço;

(18) providenciar armários para armazenamento, no Camarim de Navegação ou em paiol próprio, dos binóculos e equipamentos de navegação, como: sextantes, alidades telescópicas, círculos azimutais, estaciógrafos, transferidor universal, estadímetros, guarda-posto, régua-paralelas, plotadores e o restante do material de desenho e plotagem, instrumentos de meteorologia, componentes do odômetro de superfície, tipos de cálculo, modelos e formulários usados em navegação e meteorologia;

(19) providenciar a instalação de equipamento de recepção de cartas meteorológicas por fac-símile ("weather fax") no Camarim de Navegação;

(20) verificar a instalação do radiogoniômetro, no Passadiço, e a localização e orientação da sua antena; verificar a instalação do equipamento de Navegação por Satélite GPS (caso possível, a mestra deverá ficar no Camarim de Navegação e um remoto, ou repetidora, no Passadiço) e dos demais sistemas de Navegação Eletrônica;

(21) verificar a instalação e o alinhamento das agulhas magnéticas (padrão e de governo), da mestra e das repetidoras da giro (repetidora de governo, das asas do Passadiço e do Tijupá, se houver);

(22) verificar a aferição dos barômetros e certificar-se de que os cartões de aferição estão fixados aos instrumentos a que se referem;

(23) preparar as linhas de prumo, já com a marcação e o desconto da altura dos patins de prumar; conhecer, nesses locais, o calado do navio para as situações de plena carga, meia carga e leve;

(24) verificar a localização do transdutor do ecobatímetro e o percurso da cabeação correspondente; verificar se as profundidades indicadas pelo ecobatímetro referem-se à linha-d'água ou ao local onde estão instalados os transdutores. No caso de se referirem ao local dos transdutores, verificar qual a sua distância vertical à linha-d'água e anotar o valor no aparelho, a fim de somá-lo às profundidades indicadas no ecobatímetro, para permitir a comparação com as sondagens representadas nas cartas náuticas;

(25) providenciar a aquisição do material que não é fornecido ao navio, como lápis, borrachas, apontadores, lanternas, fita adesiva, lápis-cera e demais itens de desenho e plotagem;

(26) solicitar e receber da DHN as seguintes publicações: Roteiro, Lista de Faróis, Lista de Sinais Cegos, Lista de Auxílios-Rádio e Catálogo de Cartas e Publicações, a fim de que possa atualizá-las em tempo, antes da entrada do navio em serviço;

(27) organizar as seguintes tabelas:

- dados gerais do navio, como: comprimento, boca, deslocamento, calado, pontal, dados tácticos (avanço, afastamento, diâmetro táctico e diâmetro final para várias velocidades e ângulos de leme); tabelas de aceleração e desaceleração e de parada em emergência; ferros, amarras (número de quartéis) e filame para diversas profundidades e tipos de fundo (tensa);

- alturas, em metros e pés, dos diversos locais de onde poderão ser realizadas observações, para a correção de alturas medidas com o sextante;

- alturas, em metros e pés, do tope do mastro e da antena do radar; alturas do tope do mastro e da antena do radar das várias classes e tipos de navios da MB;

- distâncias do passadiço e da antena do radar aos escovéns e ao espelho de popa;

- rotações da máquina e velocidades correspondentes (Tabela RPM x Velocidades); e

- rotações e velocidades de manobra: devagar ou 1/3, meia força ou 2/3, padrão e toda força, avante e a ré, bem como os tempos necessários e as distâncias percorridas até a parada completa do navio nos regimes de máquinas citados;

(28) selecionar e adestrar a equipe de navegação; os oficiais que concorrem à escala de serviço em viagem deverão estar adestrados para operar todos os equipamentos de navegação existentes a bordo; o Encarregado de Navegação deverá programar adestramentos, visando o aprimoramento e a perfeita integração entre todos os componentes da equipe de navegação;

(29) adestrar os timoneiros com relação às manobras de emergência, transferência de governo e identificação de luzes e marcas previstas no RIPEAM; supervisionar o adestramento de vigias no que se refere à identificação das luzes e marcas previstas no RIPEAM, à avaliação de riscos de colisão, à identificação de auxílios à navegação (fixos e flutuantes) e de perigos à navegação;

(30) selecionar e adestrar uma praça para exercer a função de auxiliar do Encarregado de Navegação, instruindo-a a bordo ou enviando-a para a DHN, a fim de freqüentar cursos e receber adestramento de navegação e meteorologia;

(31) conhecer as responsabilidades, deveres e atribuições dos oficiais quanto à navegação, previstas na Ordenança Geral para o Serviço da Armada, e familiarizar-se com os assuntos pertinentes à área de navegação, contidos nas publicações tácticas em vigor;

(32) familiarizar-se com as manobras de transferência de governo para ré (assumir o governo em emergência pela máquina do leme) e com o Telégrafo de Rotações e de Manobra da máquina;

(33) providenciar para que os manuais de operação dos equipamentos de navegação e meteorologia estejam disponíveis, para fácil consulta de todos os interessados; preparar rotinas simplificadas de operação dos referidos equipamentos e fixá-las próximo dos mesmos; e

(34) testar e verificar as condições de funcionamento de todos os instrumentos e equipamentos de navegação e meteorologia.

Quando o navio já estiver em condições de recebimento de material:

(1) Providenciar, junto à DHN, a remessa dos equipamentos e da equipagem de navegação;

(2) solicitar e receber da DHN o regimento de cartas náuticas, as Tábuas das Mares, as Cartas de Correntes de Maré, o Atlas de Cartas Piloto, o Almanaque Náutico e demais publicações, e mantê-las atualizadas;

(3) providenciar papel para o equipamento de derrota estimada (EDE), para o registrador de rumos e papel vegetal ou plástico transparente, para preparar “overlays” para as cartas náuticas;

(4) aferir o ecobatímetro e verificar a existência de papel para o registrador; verificar a existência de papel para o receptor de cartas meteorológicas por fac-símile (“weather fax”);

(5) manter um arquivo com uma relação atualizada, que contenha o número das cartas e o seu título; arrumá-las nas gavetas da mapoteca, de modo a facilitar a retirada de qualquer carta;

(6) organizar e manter um arquivo de Avisos ao Navegantes; manter no Passadiço, à vista de todos e para consulta imediata, pranchetas com os últimos Avisos-Rádio e Meteoromarinha recebidos;

(7) inspecionar, cuidadosamente, as proximidades das agulhas magnéticas; há casos em que ferramentas esquecidas ou caídas em tubos acústicos, ou mesmo na bitácula, perturbam seriamente as agulhas; não permitir a instalação de faxinarias próximas às agulhas;

(8) fazer a compensação das agulhas magnéticas e a calibragem do radiogoniômetro, elaborando as respectivas curvas de desvios; iniciar a escrituração do “Livro das Agulhas Magnéticas”;

(9) estudar a instalação e utilização do “Degaussing”; caso seja instalado, efetuar o regulamento das agulhas magnéticas com o equipamento ligado;

(10) organizar a biblioteca de navegação, com elementos de consulta, tratados e compêndios sobre Navegação, Astronomia e METOC (Meteorologia/Oceanografia);

(11) verificar o erro instrumental dos sextantes e retificar os instrumentos, se necessário (quando o erro instrumental for superior a 3'); executar a ajustagem dos estadímetros; e

(12) iniciar o serviço da hora, com a rotina de dar corda e a determinação diária do estado absoluto e da marcha dos cronômetros e comparadores, além da verificação e acerto diário dos relógios de antepara; iniciar o preenchimento do “Livro dos Cronômetros e Comparadores”.

b. RECEBIMENTO DE FUNÇÃO EM NAVIO JÁ EM SERVIÇO

Quando se tratar de recebimento de incumbência em navio já em serviço, o Oficial que vai receber a função de Encarregado de Navegação deverá considerar a lista de verificação anterior e, além disso:

(1) Verificar, pela dotação, se o navio está com os equipamentos de navegação e meteorologia completos; caso contrário, providenciar o recebimento do que falta;

(2) verificar se o navio dispõe das cartas náuticas e publicações de auxílio à navegação necessárias, certificando-se de que todas estão rigorosamente atualizadas;

(3) verificar a existência das tabelas e instruções necessárias; preparar as que estiverem faltando;

(4) familiarizar-se com a disposição e o arranjo dos aparelhos e instrumentos; com os dados táticos do navio; com as manobras de leme, luzes e velocidades de manobra; com o critério de utilização dos telégrafos de rotações e manobra, amarras e ferros, etc.;

(5) verificar as agulhas magnéticas (existência de bolha, sensibilidade, estabilidade, excentricidade, última compensação), o funcionamento das agulhas giroscópicas, as tabelas de desvios do radiogoniômetro e das agulhas magnéticas (padrão e de governo);

(6) verificar o funcionamento e familiarizar-se com a operação do ecobatímetro, radar de navegação, GPS e demais equipamentos de navegação eletrônica;

(7) verificar a aferição e o estado dos barômetros, o funcionamento dos anemômetros e a condição dos termômetros, psicrômetros e demais instrumentos de meteorologia;

(8) verificar o funcionamento e familiarizar-se com a operação do receptor de cartas meteorológicas por fac-símile (“weather fax”);

(9) verificar a existência de tábuas, modelos de cálculos, formulários, instruções, manuais de navegação e meteorologia; e

(10) examinar o “Livro dos Cronômetros e Comparadores” e o “Livro das Agulhas Magnéticas”.

39.3 PLANEJAMENTO E TRAÇADO DA DERROTA. PROVIDÊNCIAS A SEREM TOMADAS NO PORTO, ANTES DE SUSPENDER

a. ESCOLHA E TRAÇADO DA DERROTA

Uma vez tomado conhecimento da realização de uma viagem ou do desempenho de qualquer missão pelo navio, o estudo e o preparo da derrota devem ser imediatamente iniciados, mesmo que o Encarregado de Navegação saiba que a derrota vai ser fixada em “Ordem de Movimento”.

É preciso ter sempre em mente que o estudo e o preparo da derrota devem constituir iniciativa própria de um Encarregado de Navegação cômico de suas responsabilidades. Este trabalho deve ser feito no porto, onde o tempo disponível e a facilidade de obter qualquer tipo de informação são muito maiores do que no mar.

Nos navios de guerra, sujeitos, muitas vezes, a mudanças de derrotas em viagem, o estudo e o preparo da derrota assumem grande importância, pois proporcionam tempo, no mar, para fazer frente a qualquer imprevisto. Esperar, assim, pela “Ordem de Movimento”, para então iniciar o estudo da derrota determinada, é contemporizar com providências de segurança, o que deve sempre ser evitado.

A parte mais importante do preparo da derrota não é a plotagem dos pontos nas cartas e o traçado dos rumos a seguir entre eles. A seleção do material necessário, como cartas náuticas, roteiros e demais publicações de auxílio à navegação; o estudo detalhado das cartas e publicações náuticas e da derrota a ser percorrida, dos recursos e auxílios à navegação disponíveis, dos perigos à navegação existentes, das correntes e condições atmosféricas prováveis; e o estudo detalhado dos portos de escala e de destino e dos portos ou locais abrigados para uma possível arribada, são mais importantes e independem da “Ordem de Movimento”.

Para o estudo e preparo da derrota deve ser observado o seguinte procedimento:

(1) Selecionar, das cartas náuticas existentes a bordo, as que vão ser utilizadas no preparo da derrota e solicitar à DHN as que forem necessárias e não façam parte do equipamento normal do navio;

(2) selecionar as cartas-piloto, cartas gnomônicas, Cartas de Derrotas, Roteiros, Listas de Faróis, Listas de Auxílios-Rádio, Tábuas das Marés, Cartas de Correntes de Maré e demais publicações de auxílio à navegação que forem necessárias; solicitar à DHN o material que não pertença ao equipamento normal do navio;

(3) no caso de viagem ao estrangeiro, deverá ser organizada, com bastante antecedência, a relação das cartas e publicações náuticas que serão necessárias; para isso, o Encarregado de Navegação deverá solicitar à DHN, por empréstimo, os Catálogos de Cartas Náuticas e Publicações dos Serviços Hidrográficos estrangeiros, para selecionar os documentos correspondentes à sua derrota;

(4) é necessário dispor a bordo, antes da partida, de todas as cartas e publicações náuticas que possam ser necessárias no decorrer da viagem, inclusive cartas de aproximação e de detalhe de todos os portos, fundeadouros e locais abrigados que possam servir para uma possível arribada; além disso, também devem estar disponíveis as Tábuas das Marés, Cartas de Correntes de Maré, Roteiros e demais publicações referentes a esses locais;

(5) certificar-se de que todas as cartas e publicações náuticas a serem utilizadas estão perfeitamente atualizadas, com as alterações constantes do último folheto quinzenal de Avisos aos Navegantes, bem como as recebidas pelos Avisos-Rádio posteriores;

(6) consultar as publicações que recomendam derrotas entre os principais portos do mundo (“Ocean Passages for the World”, “Planning Guides”, “Sailing Directions”, Cartas-Piloto e Roteiros), bem como as Cartas de Derrotas, e verificar qual ou quais derrotas convêm à missão a ser desempenhada;

(7) consultar a publicação “Distances Between Ports”, a fim de obter, preliminarmente, as distâncias entre os portos de escala, medidas sobre as derrotas recomendadas;

(8) estudar as cartas náuticas, tendo à mão os Roteiros correspondentes e consultando, também, as demais publicações de auxílio à navegação, a fim de certificar-se de todas as informações relevantes, que devem ser tomadas em consideração para escolha e execução da derrota;

(9) verificar o grau de confiança das cartas náuticas que serão utilizadas, considerando que ele depende diretamente da precisão do levantamento em que está baseada a carta; examinar em cada carta: a data da publicação ou da edição, o diagrama de levantamentos ou diagrama de confiabilidade, as datas dos levantamentos que deram origem à Carta, a abundância e distribuição das sondagens, unidade das sondagens e altitudes. As cartas baseadas em levantamentos antigos podem apresentar imprecisões nas sondagens, no posicionamento de perigos e nas coordenadas de pontos notáveis ou de aterragem, razão por que as **notas de precaução** (“Caution”) devem merecer especial atenção;

(10) as seguintes características indicam um levantamento imperfeito, incompleto ou que foi efetuado sem grande precisão de detalhes:

- levantamento antigo (comprovar a data no título da carta ou no diagrama de levantamentos);

- grandes espaços em branco na carta, sondagens esparsas ou irregularmente distribuídas;

- ausência de linhas de igual profundidade (isóbatas); e

- linha de costa representada por traços descontínuos;

(11) na análise dos perigos à navegação, estudar em conjunto as cartas e os Roteiros, pois este estudo poderá chamar a atenção para perigos que tenham passado despercebidos com o simples exame da carta;

(12) se, durante o estudo de uma carta náutica simultaneamente com o Roteiro correspondente, houver algum desacordo entre ambos os documentos, considerar, normalmente, as informações da carta como de maior valor, em especial quando esta for de edição mais recente que a data mencionada no Roteiro; as cartas náuticas são atualizadas com maior frequência e, além disso, são mais detalhadas que os Roteiros;

(13) entretanto, lembrar sempre que podem haver cascos soçobrados, perigos recentemente descobertos, molhes em construção, etc., que estejam indicados no Roteiro, mas ainda não representados nas cartas náuticas;

(14) em zonas das cartas em que não existam sondagens, especialmente em áreas próximas a baixios e altos-fundos, a derrota deve ser paralela à linha dos perigos, evitando-se rumos que convirjam para a terra ou para a área de perigos;

(15) no traçado da derrota:

- evitar as zonas com poucas informações de batimetria e/ou com fundo muito irregular; em áreas em que a costa é rochosa e abrupta, ou orlada de baixios, só navegar dentro da isóbata de 20 metros se a carta inspirar total confiança;

- quando existem perigos de Posição Duvidosa (PD) ou Posição Aproximada (PA) nas proximidades da costa, não se deve passar a menos de 1 milha deles; com correntes de maré ou em baixa visibilidade esta distância deve ser aumentada;

- quando existem perigos de Existência Duvidosa (ED) ou Posição Duvidosa (PD) afastados da costa, não se deve passar a menos de 5 milhas deles; e

– avaliar o afastamento da costa, levando em conta a relação entre a duração da singradura e os riscos envolvidos; considerar, também, que é mais conveniente navegar próximo de uma costa bem sondada, bem representada nas cartas e dotada de pontos conspícuos e auxílios à navegação que permitam a determinação freqüente da posição do navio, do que manter-se afastado de terra, fora do alcance dos pontos notáveis e auxílios à navegação, o que pode acarretar uma aterragem baseada em uma posição duvidosa, cuja desvantagem pode, ainda, ser agravada por cerração ou mau tempo;

(16) na escolha da derrota devem, também, ser considerados os seguintes fatores:

– verificar os acidentes naturais ou artificiais conspícuos que, por sua forma, localização e características, possam ser facilmente detectados, visualmente ou pelo radar;

– verificar os alinhamentos naturais possíveis de serem empregados;

– verificar a existência de sinalização náutica e demais auxílios à navegação, bem como estudar suas características;

– verificar as recomendações do Roteiro e as alternativas de derrotas contidas em cartas e outros documentos náuticos;

– verificar o estado do mar e os ventos predominantes, de acordo com a época do ano, analisando o comportamento do navio frente a essas condições meteorológicas;

– verificar a existência de portos alternativos ou locais abrigados, para arribadas de emergência, ao longo da derrota planejada;

– verificar se existem passos, canais, estreitos ou zonas perigosas onde seja recomendado navegar com luz do dia ou no estofo de maré; e

– levar em conta os instrumentos e equipamentos de navegação de que dispõe o navio;

(17) estudar a possibilidade e a vantagem da navegação ortodrômica para os grandes cruzeiros; ao estudar uma travessia oceânica de longa distância, comparar a derrota ortodrômica com a derrota loxodrômica, avaliando, entre outros aspectos, as distâncias envolvidas e considerando as condições meteorológicas prevalecentes nas zonas a atravessar; decidir qual das derrotas é a mais vantajosa, ou se convém adotar uma derrota composta (derrota mista), caso em que deverá ser escolhido o paralelo limite;

(18) caso a derrota seja fixada em “Ordem de Movimento”, o Encarregado de Navegação deve analisá-la segundo os critérios acima mencionados e, se julgar que tal derrota pode conduzir o navio a situações perigosas, deve participar o fato ao Comandante e sugerir alterações;

(19) traçar a derrota, inicialmente, nas cartas gerais (figura 39.1); transportá-la e estudá-la, detalhadamente, nas cartas de maior escala, onde será conduzida a navegação;

(20) uma vez traçada a derrota, calcular a duração de cada pernada, levando sempre em conta a velocidade de avanço (SOA – “speed of advance”) prevista, as correntes e os ventos prováveis, de modo a estimar a chegada a cada ponto ou porto e a hora da passagem em zonas de perigo;

(21) preparar uma tabela, para submeter à aprovação do Comandante, contendo a descrição da derrota, abordando (figura 39.2):

– designação dos pontos de inflexão da derrota (identificação por uma letra, numeral ou palavra-código);

- coordenadas geográficas (latitude e longitude) do ponto de partida, de todos os pontos de inflexão da derrota e do ponto de chegada (destino);
- rumo verdadeiro (e magnético) correspondente a todas as pernas da derrota;
- distâncias, em milhas náuticas e décimos, entre os diversos pontos de inflexão da derrota;
- velocidades de avanço (SOA) previstas para as diferentes pernas;
- duração do trajeto (ETE – “estimated time enroute”) das várias pernas da derrota, considerando a velocidade de avanço (SOA) prevista;

Figura 39.1 – Traçado da Derrota na Carta Geral

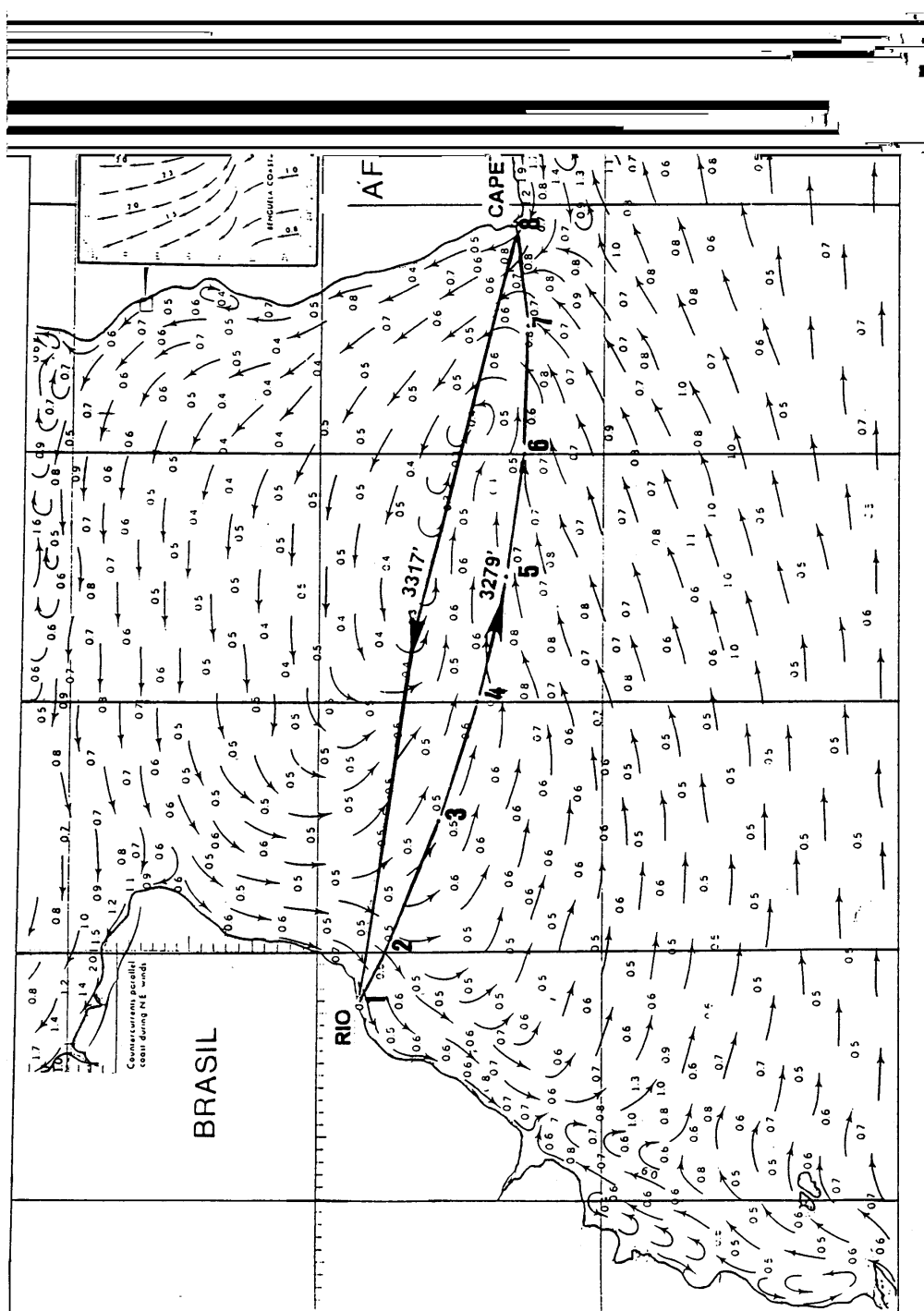


Figura 39.2 – Planejamento da Derrota de Beira, Moçambique, para o Rio de Janeiro, Brasil

Ponto da Derrota	Coordenadas		Para o Próximo Ponto				ETD/ETA (Data-Hora)	Cartas Náuticas	Observações
	Latitude	Longitude	Rumo	Distância	SOA	ETE			
BEIRA	—	—	RP	13.0'	6.5 nós	02 ^h 00 ^m	221300Z NOV 94	NIMA 61142 – ING. 642	3,5 horas antes PM Beira
1	19 – 52.5 S	034 – 58.5 E	112°	48.2'	12.5	03 ^h 51 ^m	221500Z NOV 94	NIMA 61140–61141–1003	Hleg=1700 B (dbq. Prático)
2	20 – 10.4 S	035 – 45.8 E	174°	37.8'	12.5	03 ^h 01 ^m	221851Z NOV 94	NIMA 61140 – 61141	
3	20 – 48.0 S	035 – 50.0 E	179°	181.9'	12.5	14 ^h 33 ^m	222152Z NOV 94	NIMA 61130–2933–61140	
4	23 – 49.8 S	035 – 55.0 E	213°	333.0'	12.5	26 ^h 38 ^m	231225Z NOV 94	NIMA 61120 – 61020	
5	28 – 30.0 S	032 – 35.6 E	214°	151.2'	12.5	12 ^h 06 ^m	241503Z NOV 94	NIMA 61100 – 61020	
6	30 – 36.0 S	031 – 00.0 E	224°	200.5'	12.5	16 ^h 02 ^m	250309Z NOV 94	NIMA 61080–61090–61003	
7	33 – 01.0 S	028 – 17.9 E	235°	72.2'	12.5	05 ^h 47 ^m	251911Z NOV 94	NIMA 61070–61003–2095	
8	33 – 42.8 S	027 – 07.7 E	245°	67.7'	12.5	05 ^h 25 ^m	260058Z NOV 94	NIMA 61060–61003–2095	
9	34 – 11.9 S	025 – 54.3 E	260°	305.7'	12.5	24 ^h 28 ^m	260623Z NOV 94	NIMA 61060–61003–2095	
10	35 – 05.0 S	019 – 50.1 E	298°	79.6'	12.5	06 ^h 22 ^m	270651Z NOV 94	NIMA 61040 – 578	
11	34 – 27.8 S	018 – 24.8 E	282°	3.316.5'	12.5	258 ^h 47 ^m	271313Z NOV 94	SAN 150–NIMA 61040–578	Início travessia Atlântico
12	23 – 02.0 S	043 – 07.0W	RP	11.4'	5.7	02 ^h 00 ^m	080800Z DEZ 94	DHN 1501 – 1506 – 1500	Ponto de Aterragem
RIO	—	—	—	—	—	—	081000Z DEZ 94	DHN 1515 – 1512	Hleg = 0800 O (08/12/94)
									D TOTAL: 4.818,7'
									DUR. TRAJETO: 15 ^d 21 ^h
NIMA: carta norte-americana; ING: carta inglesa; SAN: carta da África do Sul; DHN: carta brasileira									

– ETD/ETA (“estimated time of departure” ou hora estimada de partida/”estimated time of arrival”, ou hora estimada de chegada) correspondentes ao ponto de partida, pontos de inflexão da derrota e ponto de chegada;

– cartas náuticas a serem utilizadas nos diversos trechos (em ordem de emprego);

– informações relevantes (proximidades de auxílios à navegação ou pontos notáveis, passagem por zonas perigosas, etc.); e

– distância total e duração total do trajeto correspondentes à derrota.

(22) na plotagem da derrota nas cartas:

– registrar, sobre cada pernada da derrota traçada, o valor numérico do rumo verdadeiro (e magnético), além da distância correspondente ao trajeto;

– em cruzeiros longos, anotar, em espaços regulares, as distâncias ao porto demandado; isto evitará perda de tempo e muitas medidas desnecessárias;

– registrar o ETA referente a todos os pontos de inflexão da derrota, de modo que possam ser corrigidos adiantamentos ou atrasos;

– traçar as linhas de posição de segurança (marcação de perigo, círculo de distância de perigo, ângulos horizontais ou verticais de segurança, profundidade mínima, etc.), onde for conveniente; e

– anotar a “distância a passar” de cabos, pontas, ilhas, objetos notáveis na costa e auxílios à navegação, o que contribuirá para avaliar a situação do navio com relação à derrota prevista;

(23) ter especial cuidado na passagem do ponto de uma carta para outra, fazendo-o, sempre que possível, por marcação e distância de um ponto de terra, representado na área de superposição das duas cartas, para evitar problemas de posicionamento decorrentes de imprecisões cartográficas ou do uso de cartas com “data” diferentes;

(24) anotar os perigos existentes e, em relação a eles, verificar: balizamento; correntes e marés nas proximidades; ventos prováveis; recomendações existentes nos Roteiros quanto à maneira de evitá-los; hora em que serão passados, se de dia ou de noite e, em cada caso, as precauções que devem ser tomadas; distâncias em que poderão ser detectados pelo radar ou visualmente, se for o caso; que indicações as sondagens fornecerão de sua aproximação; e quais os limites de segurança em relação a outras marcas bem visíveis;

(25) estudar detalhadamente o balizamento de todo o percurso (ter atenção à Região de Balizamento do Sistema IALA em que se situa a área em que se vai navegar), marcando na carta, a lápis, os alcances dos faróis, mesmo daqueles que não possam ser avistados; estudar os detalhes de cada farol que deverá ser utilizado (alcance relativo ao passadiço, característica, fase detalhada, estrutura, sinais de cerração, etc.); não esquecer que várias causas podem reduzir ou aumentar os alcances das luzes de auxílio à navegação;

(26) lançar a lápis, nas rosas ou linhas isogônicas das cartas, o valor da declinação magnética atualizado para o ano;

(27) estudar detalhadamente todos os portos intermediários, fundeadouros e locais abrigados a que o navio, eventualmente, possa ter que arribar;

(28) ao planejar a entrada no porto de destino:

- estudar as cartas de aproximação e de porto, Roteiro, Lista de Faróis, Cartas de Correntes de Maré e Tábuas das Marés;

- traçar a derrota a ser seguida do ponto de chegada ao ponto de fundeio ou atracação, lançando os rumos e as distâncias;

- relacionar pontos de terra e alinhamentos naturais que possam ser facilmente marcados; e

- lançar as marcações de guinada, nos pontos de mudança de rumo, para objetos de fácil identificação (de preferência próximos ao través);

(29) ao escolher um ponto de fundeio, ter presente que um bom fundeadouro deve possuir os seguintes requisitos:

- ser abrigado de ventos, correntes e fortes vagas;

- ser de boa tensa;

- ter espaço bastante para o giro do navio fundeado;

- não ser muito profundo, ou não ter o fundo grande declividade;

- ser livre de cabos, dutos, canalizações e outras estruturas submarinas;

- ficar afastado de linhas de tráfego regular de embarcações;

- possuir um número suficiente de pontos notáveis e auxílios à navegação, para controlar a posição de fundeio, durante o dia e à noite; e

- se for arriada lancha para condução de compras ou de licenciados, o ponto de fundeio deve ficar o mais próximo possível do local onde atracarão as embarcações do navio;

(30) se o ponto de fundeio for designado por autoridade superior (Comandante de Força, por exemplo) ou por autoridade portuária, analisá-lo segundo os critérios acima e, se julgá-lo insatisfatório, participar ao Comandante e sugerir que seja solicitada alteração do local de fundeio;

b. OUTRAS PROVIDÊNCIAS A TOMAR ANTES DE SUSPENDER

(1) Consultar os Roteiros e a publicação “World Port Index”, obter os dados dos portos de escala e de destino, e levar ao conhecimento do Imediato as informações de caráter logístico (abastecimento de água, óleo, praticagem obrigatória, víveres, etc.);

(2) verificar as mudanças de fusos horários, a existência de hora de verão nos diversos portos e países que usam horas especiais;

(3) ler com muita atenção a introdução aos Roteiros e demais publicações de auxílio à navegação, pois ali se encontram informações importantes, tais como: sentido de contagem das marcações, sistemas de balizamento e características de faróis, meios e processos para entrar em contato com estações-rádio costeiras, regulamento de portos, sinais de socorro, elevação do observador para a qual é dado o alcance dos faróis, frequência de nevoeiro, temperatura e pressão atmosférica prevalecentes, além de outras informações meteorológicas e climáticas, dados sobre marés, correntes e ventos predominantes para as diversas épocas do ano e um grande número de informações úteis que preparam o espírito do navegante para o perfeito conhecimento e emprego de todos os elementos disponíveis para maior segurança da navegação;

(4) ler cuidadosamente as informações contidas no Folheto nº 1 de Avisos aos Navegantes da DHN. O Folheto nº 1 de cada ano contém informações sobre organização e irradiação de Avisos aos Navegantes, recomendações sobre segurança da navegação,

procedimentos relativos à localização de sondagens anormais; além disso, apresenta todos os Avisos Permanentes Especiais (APE) em vigor, abordando assuntos tais como: normas sobre poluição marinha nas águas jurisdicionais, limites dos espaços marítimos sobre os quais o Brasil exerce direitos de soberania ou jurisdição (Mar Territorial, Zona Contígua, Zona Econômica Exclusiva e Plataforma Continental), zonas de praticagem obrigatória, sinalização de plataformas de exploração/exploração de petróleo no mar; balizamentos especiais, sinalização de cais, trapiches, molhes e pontes, etc.;

(5) anotar todas as estações radiogoniométricas e radiofaróis, assim como barcas-faróis, estações DGPS (GPS Diferencial) e RACON que possam auxiliar a navegação na zona considerada;

(6) organizar uma relação das estações que transmitem sinais horários, boletins meteorológicos, cartas meteorológicas por “fac-símile” e avisos aos navegantes, com frequências e horários de emissão, e fornecê-la à Estação-Rádio do navio (figura 39.3);

(7) calcular as horas do nascer e do pôr da Lua, para as noites em que deverá ser avistada terra ou navegar costeiro (a Lua às vezes ajuda e outras vezes prejudica a visibilidade);

(8) verificar a necessidade de contratação de práticos (Mar do Norte, Mar Báltico, Estreito de Magalhães, etc.) e de aluguel de equipamentos (Decca, etc.);

(9) verificar as condições de funcionamento de todos os equipamentos de navegação e meteorologia, com especial atenção para ecobatímetro, radar de navegação, agulha giroscópica e magnética, GPS, odômetro e receptor de carta meteorológica por fac-símile (“weather fax”);

(10) examinar os cronômetros, sextantes, estadímetros, peloros, círculos azimutais e alidades telescópicas, anemômetros, termômetros e barômetros;

(11) verificar qual a hora mais conveniente para a partida, caso esteja a critério do Comandante, considerando condições de maré e corrente, passagem em canais estreitos e zonas perigosas, visibilidade, etc.; verificar as condições de maré e corrente para o dia e hora da partida; e

(12) se necessário, comparecer à DHN para consulta e esclarecimentos sobre a derrota e a navegação.

39.4 EXECUÇÃO DA DERROTA. NAVEGAÇÃO COSTEIRA E NAVEGAÇÃO OCEÂNICA

a. TIPOS E MÉTODOS DE NAVEGAÇÃO

Embora existam várias outras classificações, são tradicionalmente reconhecidos três TIPOS PRINCIPAIS de navegação, quanto à distância em que se navega da costa, ou do perigo mais próximo:

(1) NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RESTRITAS: é a navegação que se pratica em portos ou nas suas proximidades, em barras, baías, canais, rios, lagos, proximidades de perigos ou quaisquer outras situações em que a manobra do navio é limitada pela estrita

configuração da costa ou da topografia submarina. É este, também, o tipo de navegação utilizado quando se navega a distâncias da costa, ou do perigo mais próximo, menores que 3 milhas. A proximidade aos perigos e/ou o espaço restrito para a manobra exigem que o navio seja posicionado com precisão, devendo a navegação ser precedida por um meticoloso planejamento. Este planejamento requer um conhecimento das características de manobra específicas do navio, ou seja, de seus Dados Táticos. A navegação em águas restritas deve ser feita com toda a Equipe de Navegação guarnecida. É o tipo de navegação que demanda maior precisão;

Figura 39.3 – Derrota Beira–Rio de Janeiro: Estações que Transmitem Previsão Meteorológica e Avgantes

PREVISÃO METEOROLÓGICA E AVGANTES				
HORA Z (HMG)	ESTAÇÃO	EMIÇÃO	LOC. ESTAÇÃO	SERVIÇO
0405	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	PROG. SUPERFÍCIE 0000 Z
0445	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	ANÁLISE SUPERFÍCIE 0000 Z
0505	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	PROGRAMA FAX ZRO
0520	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	ANÁLISE SUPERFÍCIE 0300 Z
0615	ZSC	F1B (RATT)	CAPETOWN	AVGANTES (NAVAREA VII E LOCAIS)
0630	ZSC	A1A (CW)	CAPETOWN	AVGANTES (NAVAREA VII)
0710	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	CARTA TEMP. SUPERFÍCIE DO MAR
0730	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	PROGNOST. SUPERFÍCIE 0000 Z
0900	ZSC	F1B (RATT)	CAPETOWN	AVGANTES (NAVAREA VII E LOCAIS)
0900	ZSC	A1A (CW)	CAPETOWN	AVGANTES (NAVAREA VII E LOCAIS)
0920	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	PROGNOST. SUPERFÍCIE
0930	ZSC	F1B (RATT)	CAPETOWN	METEOROMARINHA
0930	ZSC	A1A (CW)	CAPETOWN	METEOROMARINHA
1000	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	ANÁLISE SUPERFÍCIE 0600 Z
1348	ZSC	A1A (418 KHz)	CAPETOWN	METEOROMARINHA
1445	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	CARTA SUPERFÍCIE
1500	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	ANÁLISE SUPERFÍCIE 1200 Z
1700	ZSC	F1B (RATT)	CAPETOWN	AVGANTES (NAVAREA VII E LOCAIS)
1700	ZSC	A1A (CW)	CAPETOWN	AVGANTES (NAVAREA VII E LOCAIS)
1730	ZSC	F1B (RATT)	CAPETOWN	METEOROMARINHA
1730	ZSC	A1A (CW)	CAPETOWN	METEOROMARINHA
2200	ZRO	FAC-SÍMILE	PRETÓRIA	ANÁLISE SUPERFÍCIE 1800 Z
PRETÓRIA (ZRO)			CAPETOWN (ZSC)	
FAC-SÍMILE – (KHz)			F1B (RATT) – KHz	A1A (CW) – KHz
4.014,0; 7.508,0 (*); 13.538,0; 18.238,0 (*).			2.850,0; 4.214,0; 6.322,0;	418,0; 4.291,0 (*); 8.461,0 (*);
			8.428,5; 12.601,0;	12.772,5; 17.018,0; 22.455,0.
			16.816,0; 22.408,0.	
(*) CARTAS ⇒ ANÁLISE DE SUPERFÍCIE.			(*) ⇒ BOA RECEPÇÃO.	

(2) **NAVEGAÇÃO COSTEIRA:** é a navegação praticada em distâncias que, normalmente, variam entre 3 e 50 milhas da costa (ou do perigo mais próximo). Pode, também, ser definida como a navegação feita à vista de terra, na qual o navegante utiliza acidentes naturais ou artificiais (pontas, cabos, ilhas, faróis, torres, edificações, etc.) para determinar a posição do navio no mar; e

(3) **NAVEGAÇÃO OCEÂNICA:** é a navegação ao largo, em alto-mar, normalmente praticada a mais de 50 milhas da costa.

O tipo de navegação a ser praticado varia com a situação apresentada e sua adoção será decisão do Comandante, assessorado pelo Encarregado de Navegação. Contudo, após ter sido decidido qual o tipo de navegação a ser utilizado, a precisão requerida e o intervalo de tempo entre observações não deve ser maior que aquele constante na tabela abaixo:

REQUISITOS	TIPOS DE NAVEGAÇÃO		
	EM ÁGUAS RESTRITAS	NAVEGAÇÃO COSTEIRA	NAVEGAÇÃO OCEÂNICA
DISTÂNCIA À COSTA OU AO PERIGO MAIS PRÓXIMO	MENOR QUE 3 MILHAS	DE 3 A 50 MILHAS	MAIOR QUE 50 MILHAS
PROFUNDIDADE MÉDIA	20 METROS (E MENORES)	DE 20 A 200 METROS	SUPERIOR A 200 METROS
PRECISÃO REQUERIDA PARA AS POSIÇÕES	MÁXIMA (MELHOR QUE 0,05 DA MILHA OU 100 JARDAS)	DE ORDEM DE 0,1 DA MILHA OU 200 JARDAS	1 A 2 MILHAS EM MÉDIA
FREQÜÊNCIA DE DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO	CADA 3 MINUTOS EM MÉDIA	10 A 30 MINUTOS	3 VEZES AO DIA NO MÍNIMO

Os valores típicos acima apresentados poderão variar, de acordo com os requisitos de cada situação, tais como:

- Distância do navio à terra;
- perigos existentes e pelos quais o navio deverá passar;
- existência de marcas que se prestam à determinação da posição;
- balizamento existente;
- velocidade do navio, condições de vento, vagas, corrente, maré e visibilidade; e
- confiança depositada na carta que está sendo usada.

Assim, por exemplo, as Organizações Internacionais que tratam da segurança da navegação, como a IMO (Organização Marítima Internacional), a IALA (Associação Internacional de Autoridades em Sinalização Náutica) e a OHI (Organização Hidrográfica Internacional), recomendam que os sistemas eletrônicos de posicionamento para navegação de aproximação de portos e em águas restritas tenham uma precisão da ordem de 8 a 20 metros (95% de probabilidade).

Em qualquer tipo de navegação, deve-se utilizar, sempre, a carta de maior escala disponível, que representará com maior riqueza de detalhes a topografia do fundo, os perigos à navegação, os pontos notáveis e os auxílios à navegação.

Para conduzir qualquer um dos TIPOS DE NAVEGAÇÃO, o navegante utiliza-se de um ou mais MÉTODOS para determinar a posição do navio, controlar e dirigir seus movimentos. Os principais MÉTODOS DE NAVEGAÇÃO são:

(1) NAVEGAÇÃO VISUAL: em que o navegante determina sua posição por observações visuais (marcações, alinhamentos, ângulos horizontais ou verticais, etc.) de pontos de terra corretamente identificados e/ou de auxílios à navegação de posições determinadas (condição essencial: os pontos conspícuos e os auxílios à navegação visados devem estar representados na carta náutica da região);

(2) NAVEGAÇÃO ESTIMADA: método aproximado de navegação, pelo qual o navegante executa a previsão da posição futura do navio, partindo de uma posição conhecida e obtendo a nova posição pelo rumo e velocidade do navio e o intervalo de tempo entre as posições. Cabe ressaltar que uma posição estimada deve ser plotada sempre que ocorrer uma das seguintes situações:

- Nas ocasiões de mudança de rumo;
- nas ocasiões de mudança de velocidade;
- nos momentos em que for traçada uma linha de posição (LDP);
- nos momentos em que for determinada uma posição observada; e
- nas horas inteiras e nas meias-horas (se a escala da carta o permitir).

(3) NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA: em que o navegante determina sua posição por observações dos astros; e

(4) NAVEGAÇÃO ELETRÔNICA: em que o navegante determina sua posição por informações eletrônicas (obtidas de radar, radiogoniômetro, Decca, Loran, satélite, etc.).

b. EXECUÇÃO DA DERROTA COSTEIRA E OCEÂNICA

A EXECUÇÃO DA DERROTA é, incontestavelmente, a parte mais importante da função do Encarregado de Navegação. Todo o seu trabalho preparatório, explanado nos itens anteriores, nada mais é do que um meio de ter esta tarefa facilitada ao máximo possível.

Uma derrota pode ser dividida nas seguintes partes:

- (1) Saída do Porto;
- (2) Navegação Costeira;
- (3) Navegação Oceânica;
- (4) Aterragem; e
- (5) Demanda do Porto de Destino (ou de Escala).

Por sua grande importância, a saída do porto, a aterragem e a demanda do porto de destino (ou de escala) serão comentadas, minuciosamente, no item que se segue. Será feito agora o estudo das navegações costeira e oceânica, isto é, da determinação da posição do navio no mar e controle dos seus movimentos, desde o **“ponto de partida”** até o **“ponto de aterragem”**.

“Ponto de partida” é a posição do navio, determinada por observação de pontos notáveis de terra, que é feita no momento em que é desfechado o primeiro rumo planejado da derrota. O **“ponto de partida”**, normalmente, fica situado fora da barra, ou na saída do canal, do porto de onde se suspende.

“Ponto de aterragem” é a posição do navio, determinada por observação de pontos da costa sobre a qual o navio está aterrando, que é feita no momento em que a terra é reconhecida e identificada, e onde o último rumo planejado da derrota conduziu o navio. O **“ponto de aterragem”** situa-se fora da barra do porto de destino ou de escala, antes do início do canal de acesso ao referido porto.

“Ponto de chegada” é a posição do navio, determinada por observação de pontos notáveis de terra, que é feita no momento em que é iniciada a demanda do porto. Normalmente, situa-se na entrada do canal de acesso ao porto de destino ou de escala.

O **ponto de partida** é uma das posições mais importantes que o Encarregado de Navegação tem a determinar, pois ele constitui o início da derrota planejada. Atendendo à sua importância, a determinação do ponto de partida deve ser cuidadosa, devendo ser escolhidos, com antecedência, os pontos a serem marcados. Para atingi-lo, o navio deve ser governado em rumos de praticagem (rumos práticos), com posições bem controladas, determinadas a curtos intervalos de tempo (1 a 3 minutos).

A determinação do ponto de partida deverá ser feita por um dos processos abaixo, de acordo com a disponibilidade:

- Marcação simultânea de três ou mais pontos notáveis;
- distâncias simultâneas de três ou mais pontos notáveis;
- marcação simultânea de um ponto notável e alinhamento;
- marcação simultânea de dois pontos notáveis;
- marcação e distância simultâneas de um ponto notável;
- marcação de um ponto notável e distância de outro;
- segmentos capazes; e
- posicionamento eletrônico (GPS, LORAN-C, DECCA).

Quando as medições são feitas por um só observador, elas não podem, teoricamente, ser consideradas simultâneas. Contudo, na prática, tais observações são aceitas como simultâneas e, por isso, todo esforço deve ser feito para que o intervalo de tempo entre elas seja o mínimo possível. Ademais, neste caso, deve ser obedecida a seqüência adequada de observações de LDP, amarrando ao instante da posição a LDP que varia mais rapidamente. O ponto obtido por um desses processos servirá, inclusive, para verificar a posição obtida por equipamento eletrônico de navegação.

Após a determinação do ponto de partida:

- Desfechar o primeiro rumo da derrota planejada;
- anotar o odômetro e a hora; registrar as coordenadas do ponto;
- fornecer ao Oficial de Quarto os dados do ponto de partida; e
- providenciar para que o Oficial de Quarto inicie a comparação das agulhas e faça a escrituração no livro próprio.

Tem início, então, a execução da **derrota costeira**. O Encarregado de Navegação não deve esquecer que todo o seu trabalho de preparação tornar-se-á inútil e teria sido dispensável se não se seguir a derrota prevista e estudada. Manter-se, portanto, sobre a derrota que foi escolhida e aprovada pelo Comandante deve ser um dos seus objetivos, pois ela representa segurança para o navio.

Enquanto perdurar a situação de navegação costeira, as posições do navio devem ser obtidas com a precisão e a frequência exigidas, aproveitando-se, para isso, todos os auxílios à navegação, marcas notáveis existentes na costa, etc. O ecobatímetro deve ser mantido em operação permanente e as profundidades indicadas comparadas com as sondagens registradas na carta, para todas as posições obtidas.

Ainda na navegação costeira, devem ser observados os seguintes aspectos:

- Manter, durante a execução da derrota costeira, uma navegação estimada cuidadosa, cumprindo todas as “regras para navegação estimada”;

- verificar a existência de corrente, determinar seus elementos e procurar conhecer o abatimento, caimento, atraso ou avanço do navio, por meio da comparação de posições estimadas com posições determinadas para o mesmo instante, pesquisando, ainda, se tais efeitos são devidos ao vento, corrente ou erro de odômetro. Fazer a compensação de rumo necessária para seguir a derrota prevista;

- determinar, por meio de alinhamentos ou azimute do Sol, os desvios das agulhas giroscópica e magnéticas;

- um dos critérios mais importantes para escolha dos pontos a serem marcados é sua proximidade, pois os pequenos erros cometidos na marcação produzem efeitos tanto maiores quanto mais distantes estiverem os pontos observados;

- outro critério que deve imperar na seleção de pontos na navegação costeira refere-se ao ângulo de interseção das LDP; evitar o emprego de pontos cujas marcações difiram de menos de 30°, a fim de obter uma boa geometria para a posição;

- procurar identificar o maior número possível de pontos notáveis na costa que possam servir para o posicionamento do navio, baseado no exame conjunto da carta e do Roteiro (que deve ser mantido aberto, na parte referente à descrição da zona em que se navega);

- sempre que uma nova marca começar a ser empregada na determinação da posição, fazê-la juntamente com outras duas já utilizadas, de modo a verificar se está sendo corretamente identificada. Caso não haja dois outros pontos disponíveis, verificar se o caminho percorrido na carta corresponde às diferenças de horas e odômetros registrados, ou se houve “salto” por ocasião da mudança de ponto;

- comparar as profundidades registradas no ecobatímetro com as indicadas na carta e avaliar qualquer diferença notável encontrada;

- ao passar uma posição de uma carta para outra, fazê-lo sempre por marcação e

- utilizar as informações do CIC/COC apenas para comparar com suas observações, exceto em condições de visibilidade restrita, quando pode ser necessário navegar exclusivamente pelo CIC/COC, utilizando posicionamento radar;

- não esquecer que todas as informações colhidas e resultados obtidos devem coincidir. É possível que apareçam diferenças e, caso isto aconteça, um estudo cuidadoso das informações usadas, das observações feitas, dos métodos utilizados e do critério de escolha adotado muito provavelmente mostrará onde foi cometido o erro, que, então, poderá ser corrigido;

- evitar aproximar-se de plataformas de exploração/exploração de petróleo no mar, assim como de barcas-faróis, bóias LANBY (“large automatic navigational buoy”), outras bóias de sinalização náutica, bóias oceanográficas e meteorológicas (fixas ou de deriva);

- havendo esquemas de separação de tráfego ou vias de circulação definidas, manter-se na via apropriada, evitando penetrar na zona de separação ou na via oposta; ademais, obedecer a todas as regras previstas no RIPEAM para navegação em áreas que observam estes dispositivos;

- manter escuta permanente no canal 16 VHF; em caso de dúvidas sobre as intenções ou sobre a situação de um navio que se aproxima, estabelecer contacto VHF, solicitar mudança de canal, escolhendo um canal destinado a comunicações navio-navio (“bridge-to-bridge”) e combinar a manobra, de modo que a passagem seja feita com segurança; e

- manter uma vigilância constante, feita por pessoal qualificado e devidamente instruído sobre a zona em que se navega e os perigos que podem ser esperados; o vigia deve concentrar sua atenção no setor da proa e suas proximidades, e receber recomendação de alertar imediatamente sobre quaisquer indícios de perigo, tais como água descorada, mudanças na cor da água, sargaços, arrebentações ou crescimento anormal das ondas, redemoinhos ou rebojos, troncos flutuantes e outros objetos avistados dentro dos limites do horizonte.

O radar é um aparelho de grande utilidade na navegação costeira, especialmente em condições de visibilidade restrita. Com o seu auxílio, a determinação de distâncias é muito facilitada e a identificação de acidentes notáveis, como enseadas, pontas, ilhas próximas à costa, etc., torna-se mais simples. Muita atenção merece, no entanto, quando o navegante depende exclusivamente dele. Na interpretação das indicações da tela, é preciso ter sempre em mente que o radar apresenta uma projeção plana da topografia. As elevações mostradas na carta devem ser cuidadosamente procuradas na tela, pois, quando a costa é baixa por trás das elevações, elas aparecem como se fossem ilhas, o que pode trazer confusão. A determinação da distância pode ser muito prejudicada quando a costa é baixa ou constituída de material mau refletor. Além destas limitações, o radar, dependendo do seu tipo, pode ter maior ou menor “discriminação” em marcação e distância, o que pode causar que duas ilhas, ou dois navios, ou costa e ilha próxima a ela, apareçam como se fosse um só alvo radar, isto é, representados pelo mesmo “pip” na tela. Daí, deve o navegante conhecer bem as características do radar com que está operando.

A ajustagem dos diversos controles do radar é, também, muito importante, e uma contínua busca de melhor imagem deve ser sempre levada a efeito. Apesar do radar permitir a determinação da posição por meio de marcação e distância de um só ponto de terra, o uso de dois ou três pontos é sempre aconselhável, a fim de ser verificado se eles estão sendo corretamente identificados na tela. A distância determinada nos radares é, em geral, mais precisa que a marcação obtida, pois a discriminação em marcação é de

apenas alguns graus (3 a 5) nos tipos comuns. Por esse motivo, a posição radar mais precisa é a determinada pela interseção de distâncias a pelo menos dois pontos.

Convém lembrar que a “distância ao horizonte radar” corresponde à elevação da antena, acrescida de cerca de 10%. Nestas condições, as distâncias tomadas além da distância ao horizonte correspondem a uma determinada altitude do ponto visado e não à “linha-d’água”. Isto é muito importante na Navegação Costeira e, principalmente, nas aterragens com o radar.

Durante a prática da navegação costeira, as posições do navio devem ser determinadas por métodos visuais, ou pela combinação de LDP visuais com linhas de posição radar, complementadas por informações do ecobatímetro. As informações de sistemas de posicionamento eletrônico, como o GPS, Decca ou LORAN-C, devem ser utilizadas, em princípio, para confirmação das posições visuais e/ou radar. Apenas em caso de impossibilidade de uso dos métodos acima citados, o posicionamento eletrônico deve ser o principal método de obtenção das posições do navio na navegação costeira.

Quando as marcas de terra alagarem ou estiverem prejudicadas na sua visibilidade, deve ser iniciada a navegação oceânica, utilizando-se os métodos disponíveis para a determinação da posição do navio (navegação estimada, astronômica ou eletrônica), conforme se apresentam as condições do tempo ou as possibilidades técnicas dos equipamentos de bordo. Em qualquer caso, deve ser sempre mantida uma cuidadosa navegação estimada, em paralelo com os outros métodos em uso.

Para condução da navegação estimada, as informações obtidas na navegação costeira devem ser criteriosamente levadas em conta, bem como as indicações das cartas-piloto, cartas de corrente, roteiros, cartas de derrota, etc. A navegação estimada, por ser feita com dados aproximados de elementos que, freqüentemente, variam de valor, intensidade e direção, não é muito precisa. Entretanto, isto não diminui a sua importância, pois ela independe de informações externas ao navio e de condições atmosféricas que prejudicam, ou impedem, outros métodos de navegação.

Especialmente pelas razões citadas, a navegação estimada deve ser feita com toda a meticulosidade, não devendo o navegante esperar pela observação do dia seguinte, nem pela melhora do tempo. Antes que isso aconteça, ele poderá ter necessidade imperiosa de conhecer, com a maior exatidão que lhe for possível, a sua posição. É fácil compreender isto quando se pensa na possibilidade de acidentes, de prestar socorro, de arribar devido a avarias, etc.

A prática da navegação astronômica foi abordada, com todos os detalhes, no Capítulo 32 (Volume II). É oportuno recordar que ela deve ser praticada sempre que houver oportunidade. Somente um observador com prática pode obter resultados que inspiram confiança. Esta é a razão pela qual as ocasiões não devem ser perdidas ou desperdiçadas, mesmo que não seja indispensável à segurança da navegação. A prática fará com que um observador reduza o seu erro pessoal de colimação (equação pessoal do observador) e possa alcançar melhores resultados nas suas observações, além de aumentar a auto-confiança.

Em todo o decorrer da execução da derrota oceânica, o ecobatímetro deve estar permanentemente operando, desde que se esteja dentro do alcance do equipamento. As cartas náuticas modernas apresentam as profundidades de todas as áreas nelas representadas, inclusive das grandes bacias abissais oceânicas. Assim sendo, a profundidade onde navegamos será sempre um dado do maior valor para verificar a coerência da nossa navegação estimada, astronômica ou eletrônica. Um acidente submarino notável (elevação ou banco oceânico) pode constituir uma excelente “linha de posição” obtida com o

ecobatímetro. As técnicas da navegação batimétrica devem ser exercitadas, sempre que a topografia do fundo e a representação do relevo submarino nas cartas o permitirem.

Durante a viagem, verificar se as observações meteorológicas estão sendo executadas e registradas de acordo com as normas em vigor; verificar se as mensagens “SHIP” estão sendo preparadas e transmitidas seguindo as instruções vigentes.

Receber as cartas meteorológicas transmitidas por fac-símile e/ou receber e plotar as mensagens METEOROMARINHA e inteirar-se da previsão do tempo prognosticada para a área onde se navega, complementando-a com a interpretação das observações meteorológicas feitas a bordo; informar ao Comandante, com a maior antecedência possível, qualquer condição de tempo adversa esperada, de modo que o navio esteja devidamente preparado para enfrentá-la.

Acompanhar com o máximo de atenção o teor de todos os Avisos aos Navegantes recebidos durante a viagem, informando ao Comandante sobre os que possam afetar a segurança da navegação do navio.

O Livro de Ordens de Navegação deve ser cuidadosamente escriturado, de modo que o Oficial de Quarto tenha instruções claras e precisas sobre as providências a serem tomadas, principalmente durante a noite.

A posição do navio deve ser informada diariamente, por escrito, ao Comandante, às 1200 horas, nos horários de transmissão de mensagens de posição e sempre que for ordenado.

A navegação eletrônica deverá ser feita nas regiões abrangidas por sistemas de posicionamento eletrônico, desde que o navio possa dispor de aparelho receptor específico. Os sistemas modernos são capazes de fornecer o rigor e a rapidez exigidos até mesmo pela navegação costeira. Entretanto, os sistemas com estações baseadas em terra apresentam, como principais deficiências, precisão insuficiente em determinadas circunstâncias de hora e região, ou sob condições atmosféricas adversas.

O Sistema de Posicionamento Global por Satélites Navstar GPS (“Navigation System by Time and Ranging – Global Positioning System”), conhecido em nossa Marinha como GPS, apresenta uma precisão de 100 metros (95% de probabilidade), no seu modo normal de operação (SPS – “standard positioning service”).

O GPS informa, além da Latitude e Longitude, a hora, a velocidade e o rumo no fundo. Além disso, os equipamentos dispõem de vários outros programas de navegação.

A Técnica Diferencial aplicada ao GPS (DGPS) foi desenvolvida para melhorar a precisão de posicionamento do Sistema GPS padrão, tornando os erros de posição inferiores a 10 metros (95% de probabilidade).

A Navegação DGPS em tempo real requer três componentes:

- Estação de Referência DGPS;
- “Link” de Comunicações (para correções DGPS); e
- Receptor DGPS a bordo do navio/embarcação.

As estações de referência são instaladas nos radiofaróis marítimos, que são utilizados para a transmissão de dados das correções DGPS aos usuários, utilizando a portadora do sinal do radiofarol, sem qualquer prejuízo para a radiogoniometria.

Dentre as inúmeras vantagens do DGPS utilizando a transmissão dos radiofaróis existentes em nossa costa, destacamos:

- O equipamento empregado a bordo dos navios para receber as correções DGPS pode ser utilizado em todo o mundo, pois os radiofaróis marítimos de todos os países operam na mesma faixa de frequência;
- alta disponibilidade e confiabilidade;
- precisão de posicionamento que permite a navegação de aproximação e navegação em águas restritas (no interior de portos, baías, enseadas e canais);
- utilização pelos navios e aeronaves da Esquadra e das Forças Distritais, especialmente em missões de socorro e salvamento; e
- utilização em atividades de sinalização náutica (posicionamento de sinais fixos e flutuantes) e de levantamentos hidrográficos, oceanográficos e geofísicos.

Nunca é demais reafirmar que os sistemas de posicionamento eletrônico não são infalíveis e que exigem acompanhamento constante de sua operação, para a detecção de falhas técnicas ou ausência de emissão ou recepção. Os sistemas eletrônicos apresentam como maior limitação o fato de poderem ser desligados em época de crise ou de guerra, ou de neles serem injetados erros intencionais. Assim, é preciso lembrar que a navegação responsável recomenda o uso de todos os meios disponíveis. Nenhum equipamento, ainda, elimina a necessidade do contato e reconhecimento visuais, a vivência e experiência que se adquirem pela prática. Talvez se possa mesmo esperar, pelas características operacionais e econômicas da navegação marítima, que ela jamais atinja a automação total, como pode acontecer com a navegação aérea e espacial, a ponto de descaracterizar ou eliminar a existência do marinheiro.

Durante a execução da derrota, comunicar imediatamente à DHN, via rádio, quaisquer alterações ou irregularidades que possam afetar a segurança da navegação na costa do Brasil ou na NAVAREA V, tais como derrelitos perigosos, sinais luminosos de auxílio à navegação apagados ou com funcionamento irregular, bóias desaparecidas, faróis ou faróletes tombados ou destruídos, cascos soçobrados, bancos, pedras, altos-fundos, água descorada ou arrebentações não cartografadas, mau tempo ou outras condições adversas não previstas, etc. Anotar, para posterior comunicação à DHN, qualquer observação ou fato de caráter não urgente que possa interessar à navegação na costa do Brasil.

Informar ao Serviço Hidrográfico do país mais próximo a existência de qualquer perigo à navegação não cartografado (ou incorretamente posicionado/representado na carta) descoberto em águas estrangeiras, ou qualquer uma das outras alterações acima citadas.

Navegando em formatura, o navio deve ser mantido corretamente no seu posto, mas deve ser sempre lembrado que cada navio continua a ser responsável pela sua navegação segura; assim, determinar a posição com a frequência necessária e informar ao Comandante e ao Oficial de Quarto sobre qualquer situação de perigo que puder vir a se desenvolver.

Intensificar, antes da aterragem, a execução de sondagens com o ecobatímetro e a determinação da posição do navio.

As normas que se seguem padronizam a precisão, a notação e a simbologia dos elementos usados na navegação.

(a) De maneira geral, todo elemento extraído de uma tábua, almanaque, tabela, etc., deve ser usado com a mesma precisão com que é tabulado;

(b) nos trabalhos gráficos e traçados nas cartas, a precisão é limitada à “precisão gráfica”, isto é, a 0,2 mm na escala do gráfico ou da carta;

(c) os valores dos elementos abaixo devem ser escritos com o número de algarismos indicado:

- Horas e minutos – 4
- Azimute – 4 (décimos, inclusive)
- Marcação – 4 (décimos, inclusive)
- Rumo – 4 (décimos, inclusive)
- Velocidade – 3 (décimos, inclusive)
- Odômetro – 5 (décimos, inclusive)

(d) a aproximação ao décimo de um resultado obtido em centésimos, deve seguir a seguinte norma:

- De 3,31 a 3,34 arredondar para 3,3
- De 3,36 a 3,39 arredondar para 3,4
- No caso de 5 (cinco) centésimos, arredondar para o décimo par:
 - Em vez de 3,35 usar 3,4
 - Em vez de 3,25 usar 3,2

(e) a aproximação ao décimo, quando conduz a um número inteiro, não desobriga anotar a parte decimal. Ex.: Altura = 15° 12,0';

(f) nos trabalhos gráficos e traçados nas cartas, os símbolos abaixo devem ser aplicados:

– posição estimada	
– posição determinada	
– posição com radar	
– reta de altura	
– reta de altura transportada	
– través	#

(g) a posição, estimada ou determinada, tem o símbolo correspondente ladeado por uma fração ordinária cujo numerador é o valor da hora e cujo denominador é a indicação do odômetro:

Ex.: $\frac{1325}{0008,4}$

$\frac{1200}{1236,0}$

(h) o rumo, quando traçada a linha que o representa, constitui o traço de uma fração ordinária, cujo numerador é o valor do rumo, precedido da notação “R” e cujo denominador é o valor da velocidade, precedido da notação “vel”:

$$\text{Ex.:} \quad \frac{R = 090,0}{\text{vel} = 16,5}$$

(i) na plotagem das marcações, as retas só devem ser traçadas nas proximidades da posição estimada, abstendo-se de prolongar desnecessariamente as linhas, de modo a evitar sujar ou rasurar a carta náutica, ou, o que é pior, apagar a representação cartográfica de pontos notáveis e auxílios à navegação;

(j) quando traçada a marcação, a parte extrema do segmento que a representa constitui o traço de uma fração ordinária, cujo numerador é o valor da marcação e o denominador o valor da hora:

$$\text{Ex.:} \quad \frac{270,0}{1600}$$

(l) as retas de altura, quando traçadas na carta ou no gráfico para retas de altura e série de observações (modelo DHN-0620) dispensam o traçado da direção azimutal; acima da reta deve ser escrito o nome do astro e abaixo a hora legal da observação:

$$\text{Ex.:} \quad \frac{\text{Vênus}}{1730}$$

(m) os elementos abaixo requerem as seguintes precisões:

– Altura observada	0,1'
– Altura calculada	0,1'
– Diferença de alturas	0,1'
– Azimute observado	0,5°
– Azimute calculado	0,1°
– Marcação observada	0,5°
– Marcação correta	0,1°
– Rumo para governo	1°
– Rumo para traçado	0,5°
– Rumo calculado	0,1°
– Desvio observado	0,5°
– Desvio calculado	0,1°
– Distância navegada	0,1'
– Distância medida	0,05' (100 jardas)
– Latitude	0,1'
– Diferença de latitudes	0,1'
– Longitude	0,1'
– Diferença de longitudes	0,1'
– Apartamento	0,1'
– Velocidade	0,1 nó
– Elevação	0,5 m
– Profundidade menor que 30 m	0,1 m
– Profundidade maior que 30 m	1,0 m

39.5 NAVEGAÇÃO DE SAÍDA DE PORTO, ATERRAGEM E DEMANDA DO PORTO DE DESTINO

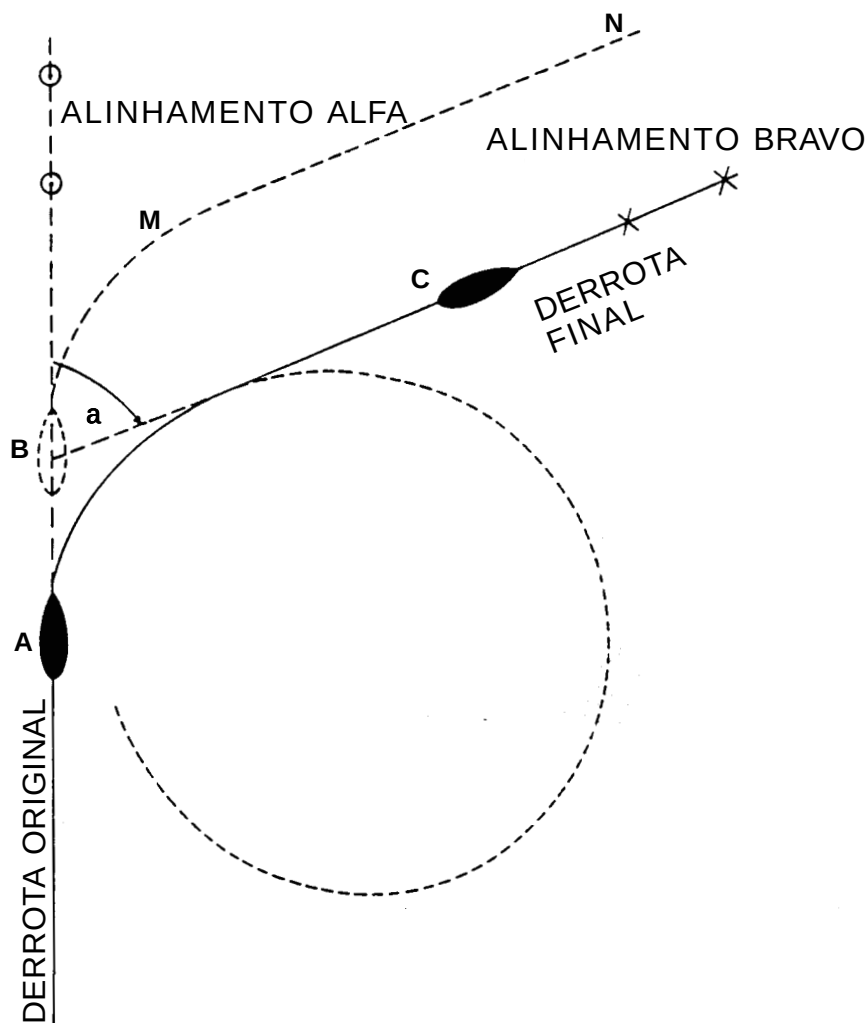
a. PRECAUÇÕES GERAIS PARA A NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RESTRITAS

A navegação de saída de porto e a de entrada no porto de destino ou escala, assim como a parte final da aterragem, são caracterizadas como **navegação em águas restritas**, que requer precauções e cuidados especiais.

Na navegação de saída de porto, bem como na de demanda do porto de destino ou escala, devem ser aplicados os **dados tácticos** (ou **características de manobra**) do navio em todas as guinadas. A figura 39.4 ilustra graficamente a aplicação dos **dados tácticos**, levando em conta o **avanço** e o **afastamento** durante as mudanças de rumo, o que adquire especial relevância ao se navegar em canais estreitos, proximidades de perigos ou outras águas restritas e, também, quando em evoluções em formatura (manobras tácticas). Na figura são apresentadas duas pernadas da derrota planejada, **AB** e **BC**. A pernada **AB** tem como referência o alinhamento ALFA e a pernada **BC** o alinhamento BRAVO. Para que seja seguida a **derrota planejada**, deve ser consultada a **curva de giro**, ou a **tabela de dados tácticos**, correspondente à **velocidade** e ao **ângulo de leme** a serem utilizados na manobra. A curva (ou tabela) fornecerá o valor do **avanço** e do **afastamento**

que reduza a velocidade, pare as máquinas, corte o seguimento do navio ou, até mesmo, fundeie, até que todas as dúvidas sejam desfeitas e a navegação possa ser retomada com segurança.

Figura 39.4 – Uso dos Dados Táticos na Navegação em Águas Restritas



Se houver necessidade de pairar sob máquinas em um canal, deve-se procurar colocar o navio afilado ao vento, ou à corrente. Quando der adiante, procure ganhar seguimento o mais rápido possível, ordenando uma velocidade maior do que aquela em que se pretender navegar. Após ganhar seguimento, a velocidade pode ser reduzida para um valor mais conveniente à manobra no canal.

Na navegação em águas restritas deve-se levar sempre em conta o calado, que aumenta com a velocidade, o balanço e o caturro do navio. Quando houver necessidade de passar sobre fundos comparativamente rasos, é essencial o cálculo da altura da maré para a hora prevista para a passagem, comparando a profundidade esperada com o calado. Deve-se buscar sempre uma ampla margem de segurança, especialmente quando a altura das ondas for considerável.

O calado é maior quando o navio desenvolve grandes velocidades e aumenta significativamente com o balanço. Este crescimento depende do tipo de navio, sendo maior naqueles cuja caverna mestra abaixo da linha de flutuação é aproximadamente retangular, sendo ainda mais aumentado quando o navio tem quilhas laterais no ângulo exterior

do retângulo. Em certas classes de navios, o aumento é de 7 polegadas por grau de balanço, de tal modo que, para 10°, o aumento pode chegar a cerca de 6 pés (1,8 m). Por isso, a velocidade deve ser criteriosamente avaliada. A experiência indica que uma velocidade conveniente e segura para grandes navios deslocando-se em baixas profundidades alcança, em geral, 7 nós. No caso de existir corrente, o navegante deverá decidir entre uma velocidade reduzida, que não implique um grande aumento de calado, e aquela que permita manter um bom controle do governo do navio.

Na navegação de saída de porto ou de entrada no porto de destino/escala, se houver uma **derrota aconselhada** traçada na carta, o navio deverá navegar sobre ela. As **derrotas aconselhadas** traçadas em certas cartas náuticas de grande escala devem ser interpretadas conforme a definição adotada pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI), que estabelece: “derrota aconselhada é uma linha indicada na carta náutica, que foi especialmente investigada, para assegurar que está livre de perigos, e ao longo da qual se recomenda aos navios navegar”.

Alinhamentos notáveis (naturais ou artificiais) e marcas de proa, ou de popa, devem ser bastante utilizados na navegação em águas restritas. Além disso, todas as marcações de perigo, ou de segurança, devem estar traçadas nas cartas.

Navegando em canais, todo o navio deve manter-se à direita do eixo médio do canal sempre que seja possível, sem prejuízo da sua segurança. Ao cruzar com outra embarcação, deve deslocar-se para BE (para a margem do canal que está à sua direita), conforme estipula o RIPEAM.

Nos canais tortuosos (sinuosos) se recomenda navegar, sempre que possível, no estófo da maré ou contra a corrente, por serem as circunstâncias em que os navios governam melhor.

Os trechos perigosos e passos estreitos devem ser cruzados, de preferência, durante o dia.

Na navegação em águas restritas é sempre recomendável manter uma reserva de velocidade, para enfrentar situações que requeiram uma velocidade maior do que aquela que se está empregando.

Em águas rasas pouco conhecidas, com escasso número de sondagens, de baixa confiabilidade, e mal balizadas, navegar com velocidade reduzida, intensificar a vigilância e, se o meio permitirem, utilizar uma embarcação miúda, dotada de ecobatímetro ou prumo, sondando na proa e/ou helicóptero sobrevoando a área avante do navio.

A vigilância também deve ser intensificada na navegação em águas restritas no período noturno e sob nevoeiro ou cerração, para avistar luzes de faróis, faroletes, bóias luminosas e de outros navios.

Com visibilidade restrita, a velocidade deve ser reduzida, conforme determina o RIPEAM, e o controle da posição do navio deve ser feito com maior frequência. Além disso, o uso do radar e do ecobatímetro devem ser intensificados.

Nestas condições, deve-se, também, prestar o máximo de atenção aos sinais acústicos recebidos. Quando o som se propaga contra o vento, pode ocorrer que seja lançado para o alto. Nestes casos, deve-se advertir a vigilância, normalmente situada em ponto de maior altura (no tijupá), para ficar alerta para identificar o sinal sonoro, que pode não ser ouvido no passadiço. Ainda com relação aos sinais acústicos, não se deve supor que:

– Porque não se ouve o sinal, se está fora do limite do seu alcance;

- porque se escuta um sinal fraco, se está a grande distância;
- porque se ouve forte, se está muito próximo; e
- porque não se ouve, mesmo quando se esteja em suas proximidades, este deixou de funcionar.

Ademais, não se deve deduzir a marcação relativa de um sinal sonoro pela direção de onde se julga estar vindo o som, pois também há desvios no plano horizontal.

b. NAVEGAÇÃO DE SAÍDA DE PORTO

As providências relativas à segurança da navegação que devem ser tomadas para a saída do porto são de diversas espécies, variando com as condições locais, porte do navio, utilização ou não do serviço de praticagem e rebocadores, condições de visibilidade, etc.

Como normas gerais, podem ser enumeradas as seguintes providências, a serem tomadas antes do navio suspender:

(1) Entrar em entendimentos com o Capitão dos Portos, Delegado ou Agente da Capitania, ou diretamente com a Administração do Porto, a fim de conseguir práctico e rebocadores para a manobra, caso seja necessário;

(2) providenciar para que a agulha giroscópica seja posta em funcionamento com a antecedência necessária à sua orientação; deve ser informada a Latitude e a proa em que está o navio, a fim de tornar mais rápida a orientação;

(3) verificar, antes do navio suspender, o calado a vante e a ré e anotar no Livro de Quarto;

(4) assistir às experiências de leme, telégrafos, apito, sinais de alarme, luzes de navegação e de tudo o mais que for necessário à manobra do navio, de dia e de noite;

(5) separar as cartas que vão ser usadas no cruzeiro a ser iniciado, colocando sobre a mesa a carta do porto e a primeira carta para navegação costeira a ser utilizada;

(6) verificar a sincronia das repetidoras da giro (repetidora de governo e dos peloros das asas do passadiço), entre si e com a agulha mestra;

(7) instalar os círculos azimutais e/ou alidades telescópicas nas repetidoras da giro e na agulha padrão;

(8) ligar e testar o ecobatímetro, radar, radiogoniômetro, GPS e demais equipamentos de navegação;

(9) ter o leme guarnecido pelo melhor timoneiro de bordo, denominado, em geral, “timoneiro de Detalhe Especial para o Mar (DEM)”, que deve ser um homem experimentado e habituado à maneira de falar de quem manobra ou transmite as ordens;

(10) verificar e completar o material necessário ao Oficial de Quarto, como réguas-paralelas, plotadores, demais itens de material de desenho e plotagem, tabelas de dados táticos e dados de máquinas do navio, estadímetro, binóculos, rosas de manobra, tábuas de navegação, lanternas, tipos de cálculos, modelos e formulários, calculadora eletrônica de navegação, etc;

(11) preparar as sondarezas, os prumos de mão e o odômetro de superfície;

(12) verificar os telefones de manobra;

(13) obter a previsão da maré, das Tábuas das Marés, para o horário de suspender; informar a situação da maré ao Comandante e ao Oficial de Manobra;

(14) obter, das Cartas de Correntes de Maré, os elementos da corrente de maré prevista para o horário de saída do navio, informando ao Comandante e ao Oficial de Manobra;

(15) instruir com antecedência a equipe de navegação do passadiço e a equipe de navegação radar do CIC/COC sobre os pontos a serem marcados nos diversos trechos da derrota de saída do porto, os auxílios à navegação fixos e flutuantes existentes e as distâncias em que devem ser deixados, largura e profundidade do canal dragado ou varrido, esquemas de separação de tráfego em vigor, perigos a serem ultrapassados, condições de maré e de corrente previstas, etc.; instruir a vigilância sobre os detalhes da navegação de saída de porto e recomendar atenção aos navios e embarcações em movimento na área;

(16) preparar a navegação paralela indexada, se for o caso, e instruir todos os envolvidos na sua execução;

(17) verificar se a equipe de navegação está totalmente guarnecida e pronta para começar a operar, antes do início da manobra;

(18) executar o acerto de relógios;

(19) ter à mão os dados sobre o navio, que poderão ser solicitados pelo práctico (deslocamento, comprimento, boca, calado, altura do mastro, potência da instalação de máquinas, dados sobre aceleração e desaceleração, diâmetros tácticos e outras informações sobre as curvas de giro, etc.); e

(20) verificar se um dos ferros está pronto a largar.

Depois de iniciada a manobra, mesmo que tenha práctico a bordo, começar a determinação da posição do navio com a frequência recomendada e informar sempre ao Comandante os perigos próximos ao local da manobra, limites de segurança, bóias e balizamento de qualquer espécie, embarcações e navios que se aproximem, além de qualquer outro fato que possa comprometer a segurança do navio.

Terminada a manobra de suspender e iniciada a navegação de saída do porto:

(1) Determinar os desvios das agulhas por alinhamentos bem definidos, aproveitando todos os disponíveis;

(2) determinar a posição do navio, atendendo às seguintes finalidades: manter o Comandante informado sobre a situação, controlar a navegação do práctico (se for o caso) e obter elementos úteis para futuras entradas e saídas do porto. A determinação da posição deve ser feita por marcações simultâneas, com intervalos não maiores do que 3 minutos. Ao Encarregado de Navegação cabe o planejamento da navegação de saída de porto, a seleção, identificação e mudança dos pontos a serem marcados, a avaliação da posição e a supervisão do preenchimento da folha DHN-0622 “Registro de Ocorrências de Navegação”;

(3) arriar ou lançar o odômetro logo que for possível;

(4) observar, por meio de uma bóia pela qual passe o navio, ou por qualquer outro meio práctico, a direção da corrente e estimar sua velocidade, informando o resultado ao Comandante e Oficial de Manobra; e

(5) procurar atingir o ponto de partida previamente escolhido, mantendo-se rigorosamente dentro dos limites do canal de acesso (varrido ou dragado).

Não esquecer que, mesmo com prático a bordo, a responsabilidade da navegação continua sendo do Comandante e que ele deve ser esclarecido sempre que houver alguma dúvida sobre a situação do navio e sua segurança.

Em portos estrangeiros é preciso ter presente que, provavelmente, o timoneiro não compreenderá o prático e que o Oficial de Manobra, ou o próprio Encarregado de Navegação, deverá servir como intérprete, para que não haja demora no cumprimento das ordens dadas.

As ordens para o timoneiro e/ou sota-timoneiro devem ser claras, concisas e específicas; devem evitar, de qualquer maneira, possibilidade de ambigüidades e de confusão entre rumos e rotações. O hábito de preceder uma ordem de mudança de rumo do sentido em que deve ser carregado o leme tem provado, na prática, ser muito seguro. O estabelecimento da linguagem padrão dada abaixo é aconselhável:

- Leme a boreste graus; governar em;
- Leme a bombordo graus; governar em;
- Rotações;
- Boreste adiante devagar (ou 1/3); e
- Boreste atrás meia força (ou 2/3).

Quando é intenção guinar com o navio sem poder precisar o rumo de governo:

- Leme graus a boreste (ou bombordo); e
- Não pretender que o timoneiro governe no rumo desejado se, com antecedência, não for determinado “alivia” e, no momento oportuno, “governa assim”. Ordenar “governa assim” em meio a uma guinada resultará em que o rumo seja varado. A expressão “quebra a guinada” deve preceder “governa assim”, quando o giro ainda é rápido.

Quando o navio passa em local apertado ou está correndo a milha, o timoneiro deve ser alertado com a expressão “nada a BE”, “nada a BB”, ou “bom governo”.

Os rumos e rotações devem ser ordenados algarismo por algarismo, de modo a ficar bem claro. Exigir, sempre, que o timoneiro repita a ordem recebida nos mesmos termos em que a mesma foi dada e que comunique quando o navio estiver “a caminho”.

Governar sempre por rumos, evitando ordenar ao timoneiro aproar a um objeto, que nem sempre é facilmente identificado por ele e, às vezes, pode estar encoberto por qualquer obstáculo. Contudo, quando em ocasião de manobra for necessário adotar o sistema de aproar a um determinado ponto, governando por rumos práticos, é essencial verificar se ele foi corretamente identificado pelo timoneiro.

Quando o tipo de navio não permitir que o Comandante, durante a manobra, dê suas ordens diretamente ao timoneiro e sota-timoneiro (exemplo: Comandante manobrando do tijupá e timoneiro e sota-timoneiro no passadiço), é conveniente escalar um Oficial para permanecer no passadiço, supervisionando o timoneiro e sota-timoneiro, assegurando-se de que todas as ordens do comando foram corretamente compreendidas e prontamente atendidas.

c. ATERRAMENTO

A aterragem é uma das operações mais delicadas e perigosas efetuadas pelo Encarregado de Navegação. Um grande número de fatores pode facilitar ou dificultar a manobra e é necessário estar preparado para todos os casos e eventualidades. Um planeamento adequado é essencial para o êxito da aterragem.

Toda e qualquer aterragem deve ser precedida de um minucioso estudo da costa e das condições locais. A leitura do Roteiro é indispensável e deve ser feita em conjunto com a carta de maior escala que sirva para a aterragem. Devem ser observadas, especialmen-

A escolha da hora da aterragem torna-se, às vezes, muito importante. Numa costa baixa, arenosa, sem acidentes notáveis, porém bem balizada, é preferível aterrar à noite, sobre um farol de 1ª classe, ou “de aterragem”, como é chamado. Isto torna mais fácil e segura a operação, desde que sejam tomadas as precauções usuais de identificação da característica, e não seja esquecido que os avisos de irregularidades ou não funcionamento dos faróis chegam a bordo com alguma demora. Ainda sobre aterragem noturna, é conveniente lembrar que a Lua pode dificultar a observação do farol ou faróis escolhidos, devendo isto ser levado em conta.

Para a aterragem diurna, escolher, sempre que possível, uma hora em que o Sol ilumine a costa e não prejudique a visão.

Os períodos que abrangem os crepúsculos são, em geral, os piores para a aterragem, inclusive porque a hora em que o balizamento é aceso ou apagado não é conhecida com certeza, além de a costa não poder ser nitidamente observada para fins de identificação e reconhecimento.

Em casos de má visibilidade local e na falta de elementos que forneçam a posição de navio, pode ser mais aconselhável esperar que as condições melhorem do que prosseguir e correr o risco de um acidente.

Entretanto, com auxílio do GPS, radiogoniômetro, radar e ecobatímetro, e dependendo da característica da costa e dos radiofaróis existentes, a aterragem pode ser feita dentro da segurança necessária, desde que os elementos disponíveis sejam avaliados criteriosamente, servindo uns para verificação dos outros, até que a posição do navio seja conhecida com certeza.

Uma vez avistada a costa, a preocupação máxima deve ser o reconhecimento do trecho e a identificação dos pontos notáveis, de modo a permitir a determinação da posição do navio.

Esta determinação deve ser feita, sempre que possível, por marcação simultânea de 3 pontos, o que possibilita, ainda, verificar se os pontos marcados foram corretamente identificados. Quando não é possível marcar 3 pontos, usar os disponíveis, aumentando a frequência das observações, até ter certeza, com o auxílio das informações obtidas pelo odômetro, radar, ecobatímetro ou qualquer outro meio, de que a posição está bem determinada.

Uma vez definitivamente comprovada a posição do navio, continuar a navegação costeira até o **“ponto de chegada”**, iniciando aí a demanda do porto, na qual todas as precauções requeridas para navegação em águas restritas devem ser observadas, não devendo haver solução de continuidade nas medidas de segurança até então adotadas. O navio só está a salvo dos perigos da navegação depois de atracado ou fundeado em posição que já tenha sido examinada.

A chegada a um porto, em especial se for estrangeiro, desperta, naturalmente, a curiosidade do pessoal de bordo, que procura o passadiço ou tijupá para melhor se informar ou assistir à entrada. Essa prática é inconveniente por causa das conversas, comentários e perguntas que normalmente surgem. Tal procedimento deve ser, em princípio, abolido ou, quando o espaço permitir, reduzido ao mínimo, delimitando zonas em que é permitida a permanência do pessoal que não está de serviço.

Pontos conspícuos avistados, mas ainda não representados na carta, devem ter suas posições aproximadas determinadas e lançadas a lápis na carta, pois podem ser úteis para o posicionamento do navio.

Em nenhum caso deve o Encarregado de Navegação se esquecer das deficiências e imprecisões peculiares aos métodos por ele usados na determinação da posição, avaliando o grau de erro em cada caso, atribuindo maior ou menor valor às diversas informações obtidas, de acordo com o processo ou a fonte que as originou, e dando o devido resguardo, de modo que a navegação se faça sempre com a segurança, precisão e rapidez que garantam, neste particular, a integridade do navio. Lembrar que, além de Ciência, a navegação também é uma Arte. Quando exercita essa interpretação de informações e atribui valor diferenciado aos dados obtidos, o navegante emprega uma medida de arte na navegação.

d. ENTRADA NO PORTO DE DESTINO (OU ESCALA)

Para quem fez uma boa aterragem, a entrada no porto fica facilitada, embora sujeita a perigos, que aumentam à medida que o navio se aproxima de situações tais como: zonas com pouca profundidade, bóias que podem ter garrado, marcas menos conspícuas, pequenas alterações na costa que podem não constar dos roteiros e cartas, alterações na batimetria, surgimento de novos perigos, etc.

Para a entrada em qualquer porto deve ser utilizada a carta de maior escala disponível, além de tomadas as seguintes precauções:

(1) Solicitar ao Capitão dos Portos, Delegado ou Agente da Capitania, ou diretamente à autoridade competente do porto de destino, práctico e rebocador, se for utilizá-los;

(2) obter a previsão da maré, das Tábuas das Marés, e a previsão dos elementos da corrente de maré, das Cartas de Correntes de Maré, e informá-las ao Comandante e ao Oficial de Manobra;

(3) a navegação de entrada de porto também deve ser detalhadamente planejada, escolhendo-se os pontos a serem visados nos diversos trechos da derrota, definindo-se a que distâncias devem ser deixadas as bóias de canal e outros auxílios à navegação, quais os rumos em que navegar, quais as marcações de guinada e os objetos de referência, alinhamentos notáveis, etc.;

(4) a equipe de navegação e a equipe de navegação radar do CIC/COC devem ser instruídas com antecedência sobre os detalhes da navegação de entrada de porto;

(5) a equipe de navegação deve guarnecer com antecedência e iniciar a determinação contínua das posições do navio, a fim de garantir que se entre no porto obedecendo à derrota previamente estabelecida;

(6) determinar a posição do navio com intervalos não maiores do que 3 minutos, conforme foi recomendado anteriormente. Este procedimento deve ser observado mesmo que a navegação esteja sendo orientada pelo práctico. Qualquer dúvida sobre a segurança do navio deve ser imediatamente comunicada ao Comandante;

(7) determinar os desvios das agulhas por alinhamentos bem definidos, aproveitando todos os disponíveis;

(8) observar, por meio de uma bóia pela qual passe o navio, ou por qualquer outro meio práctico, a direção da corrente, e estimar sua velocidade, informando o resultado ao Comandante e ao Oficial de Manobra;

(9) ter presente, além das normas usuais para a navegação em águas restritas, as recomendações particulares do porto que é demandado, sobre velocidade, embarcações de pesca e linha regular de embarcações, locais proibidos, pontes móveis, precedência na passagem em locais apertados, áreas de fundeio e fundeadouros, etc.;

(10) ter particular atenção aos tipos e convenções usados no balizamento, que, muitas vezes, diferem dos adotados no Brasil;

(11) içar ou recolher o odômetro logo que não seja mais necessário, ou quando as profundidades exigirem;

(12) ter o sinal do C.I.S. içado, caso vá receber práctico, devendo o navio ser levado até o local indicado no roteiro. Se o práctico demorar a chegar a bordo, não descuidar da posição do navio;

(13) ter prontas todas as informações sobre dados principais do navio, máquinas e seu regime, velocidade disponível e outras que, porventura, sejam pedidas pelo práctico;

(14) estudar o fundeio em mais de um local, tendo em mente a possibilidade de um deles já estar ocupado; considerar que os fundeadouros indicados nas cartas náuticas com o símbolo pertinente constituem uma recomendação baseada em experiências anteriores;

(15) caso o ponto de fundeio tenha sido determinado por autoridade superior (Comandante da Força) ou autoridade portuária, avaliar bem sua localização e, se julgá-lo pouco seguro, informar ao Comandante, sugerindo que seja solicitado outro ponto;

(16) escolhido o ponto de fundeio, deve ser plotado o **“fundeio de precisão”**, traçando-se, se a escala da carta permitir, os círculos de distância, de 100 em 100 jardas, até 1.000 jardas e os círculos de 1.200 e 1.500 jardas (lembrar que o zero dos círculos de distância está situado sobre o rumo final, a uma distância do ponto de fundeio igual à distância passadiço–escovém); o rumo final para o fundeio deve ser traçado procurando-se um alinhamento ou uma marca de proa como referência; para o fundeio, deve-se buscar um ponto nas proximidades do través, para servir como referência para a marcação de largada do ferro. Deve ser antecipadamente informado ao Encarregado do Convés e ao Mestre do Navio a profundidade do ponto de fundeio, a natureza do fundo e o filame a ser utilizado;

(17) procurar atingir a posição de fundeio aproando a um alinhamento ou a uma marca de proa e verificando o avanço por meio da marcação de um ponto, que deve ficar tão próximo do través quanto possível, na hora do fundeio; sempre que possível, deve-se demandar o fundeadouro aproado ao vento ou à corrente;

(18) na navegação de entrada de porto verificar se um dos ferros está guarnecido e pronto a largar;

(19) ao entrar em um porto do qual não existem boas cartas, procurar passar afastado de locais onde se encontram embarcações de pesca, pois estas, em geral, operam sobre altos-fundos e pedras, que servem como atratores aos cardumes; e

(20) sugerir que a velocidade seja reduzida ao passar por pequenas embarcações, para evitar marolas ou banzeiros perigosos.

Após o fundeio:

(1) Depois que o navio afilar, determinar novamente a posição e colocá-la na carta. Caso seja satisfatória, terminar o registro da Folha DHN-0622 com todos os dados relativos ao fundeio, fornecendo cópia desses elementos ao Oficial de Quarto, para registro;

(2) deixar, sobre a mesa, a carta do porto, com a posição do fundeio e marcações de pontos que sirvam para o Oficial de Quarto verificar, a qualquer momento, se o navio está garrando. Na escolha dos pontos a serem marcados deve ser levada em conta a sua identificação segura durante a noite. Para evitar rasura na carta pelos sucessivos traçados de linhas de posição e plotagens do ponto de fundeio para verificação, é recomendável

preparar um “overlay” de papel vegetal ou plástico transparente e fixá-lo sobre a carta, para preservar sua limpeza e integridade;

(3) deixar registrada, também, a profundidade do ponto de fundeio, que é um elemento importante para verificação se o navio está garrando;

(4) certificar-se de que foi estabelecido um serviço de vigia da amarra (“anchor watch”), que deve verificar e informar periodicamente a situação da amarra ao Oficial de Quarto ou Oficial de Serviço;

(5) organizar uma tabela com as horas do nascer e pôr-do-Sol durante o período do fundeio ou de permanência atracado, e divulgá-la para o Oficial de Quarto ou Oficial de Serviço; e

(6) recolher o material de navegação que não for mais necessário, para limpeza e guarda, providenciando o reparo dos avariados e a complementação da andaina.

39.6 CUIDADOS E CONSELHOS PRÁTICOS

Neste item são indicados conselhos úteis e cuidados que, ditados pelas experiências da vida no mar e pelo tirocínio da vida de bordo, constituem subsídios valiosos para o bom desempenho das funções de Encarregado de Navegação. Para facilidade de exposição, tais conselhos e cuidados são grupados, tanto quanto possível, por assuntos. Antes de abordar diretamente a questão, deve ser lembrado que a Ordenança Geral para o Serviço da Armada prevê obrigações e deveres para o Comandante, Imediato, Encarregado de Navegação e Oficial de Quarto, no que diz respeito à navegação, que devem ser sempre rigorosamente observados e cumpridos.

(1) Agulhas magnéticas:

(a) Verificar periodicamente se as posições dos ímãs compensadores (longitudinais, transversais e do balde, no interior da bitácula, e barra de Flinders e esferas de Barlow, exteriores à bitácula) são as constantes do Certificado de Compensação da Agulha e do Livro das Agulhas Magnéticas, para a última compensação;

(b) verificar se existem a bordo sobressalentes dos ímãs longitudinais e transversais e se são guardados aos pares, com pólos de nomes contrários juntos, em local distante das agulhas magnéticas e dos cronômetros;

(c) inspecionar, periodicamente, o interior do alojamento da barra de Flinders, o interior e proximidades da bitácula, impedindo a existência, nestes locais, de peças de metal magnético, ferramentas, etc.;

(d) não permitir que as agulhas fiquem descobertas, expostas ao Sol, cobrindo-as com capuchana metálica e capa de lona;

(e) verificar se os sistemas de iluminação normal e de emergência estão prontos para funcionar a qualquer momento;

(f) navegando em climas frios, manter sempre acesa a lâmpada existente sob a cuba;

(g) examinar, periodicamente, o círculo azimutal ou alidade, a suspensão cardan e a cuba;

(h) nos navios equipados com “degaussing”, ao fazer o regulamento das agulhas, organizar duas tabelas ou curvas de desvios: uma com o “degaussing” ligado e outra com o “degaussing desligado”;

(i) antes de realizar o regulamento ou a compensação da Agulha, efetuar o seu exame, verificar se existe bolha (completando o líquido, a fim de retirá-la, se for o caso) e fazer os testes de excentricidade, sensibilidade e estabilidade;

(j) observar constantemente a agulha magnética em áreas de perturbações magnéticas (normalmente indicadas nas cartas náuticas e Roteiros); e

(l) verificar os desvios da agulha durante tempestades elétricas e magnéticas.

(2) Binóculos:

(a) O binóculo 7x50, de uso corrente na MB, satisfaz tanto de dia como de noite;

(b) os serviços prestados pelos binóculos dependem da conservação dos mesmos; assim, utilize-os com cuidado, evitando choques que podem desalinhar ou avariar o sistema ótico; e

(c) a melhor maneira de guardar os binóculos em viagem consiste em preparar caixas de madeira acolchoadas para os mesmos e fixá-las às anteparas do passadiço e tijupá.

(3) Bóias:

(a) A confiança que inspiram as bóias luminosas automáticas (e, também, os faróis e faroletes automáticos) é muito relativa, pela possibilidade de uma avaria que apague a luz;

(b) também não é raro garrarem bóias que indicam cabeços de banco, de modo que convém sempre procurar marcas que controlem suas indicações, pelo menos aproximadamente;

(c) as bóias de sino e apito geralmente não funcionam com mar calmo. No que diz respeito a sinais sonoros, não pensar que se está longe do mesmo porque o ouve fracamente; que está bem navegado porque o ouve bem; que está mal navegado por ter deixado de ouvi-lo. A direção de onde vem um sinal sonoro pode ser determinada utilizando um megafone. Para tanto, colocar o bocal em um ouvido, tapar o outro e girar o corpo até ouvir o som com a máxima intensidade. Esta será a **direção aproximada**, pois existem desvios também no plano horizontal;

(d) as luzes, pinturas e posições das bóias podem estar alteradas. Em lugares em que abundam as aves marinhas, a coloração da bóia é alterada pelo guano proveniente das citadas aves. Isto pode ocasionar sérios perigos quando se desconhece o porto; e

(e) não confiar cegamente na posição das bóias, principalmente nas expostas ao mar aberto. Elas devem ser consideradas como existindo para chamar a atenção do navegante e não para marcar o caminho infalível de passagem. Não navegar, portanto, pelas bóias e sim por alinhamentos e marcações de objetos fixos de terra.

(4) Cartas Náuticas:

(a) A precisão de uma carta é função não só do modo pelo qual foi feito o levantamento hidrográfico da região que ela representa, como, também, das informações complementares relativas a modificações subseqüentes. Em geral, pode ser considerado que

somente os levantamentos dos portos mais freqüentados e suas proximidades são suficientemente completos e em condições de assinalar todo e qualquer perigo. Não esquecer, ao utilizar uma carta, que a precisão dos elementos que dela podem ser obtidos está na razão direta de sua escala e, por conseguinte, procurar sempre usar uma carta de maior escala, porque contém maiores detalhes. A escala da carta é tanto maior quanto menor for o denominador da fração indicadora. Deve-se ter atenção para a existência das cartas contíguas e/ou de mesmo trecho com escalas diferentes e referidas a “data” diferentes. Nesses casos, recomenda-se, para plotagem da posição, quando da mudança da carta, a utilização de pontos de terra como referência, transferindo um ponto de uma carta para outra por marcação e distância de um ponto de terra bem definido, representado nas duas cartas. A informação sobre o “datum” horizontal utilizado consta do título das cartas náuticas;

(b) quando houver desacordo entre as indicações do Roteiro e as da Carta Náutica, é aconselhável seguir as indicações das cartas, pois estas são constantemente atualizadas e, além disso, são mais detalhadas que os roteiros. Qualquer nota nas cartas náuticas deve ser lida com cuidado, pois traz, às vezes, informação relevante que não foi possível representar graficamente. As notas de precaução são especialmente importantes e devem ser lidas com toda atenção;

(c) grandes ou irregulares espaços em branco, entre as sondagens de uma carta, devem ser considerados como zonas suspeitas, principalmente se as áreas vizinhas são de recifes e bancos. Se as sondagens são escassas ou irregularmente distribuídas, o que significa que o levantamento não foi completo, não confiar demasiadamente na carta. Quando a carta apresenta poucas sondagens, deve-se procurar seguir uma isóbata. Quando a costa é rochosa e abrupta, com pedras que dela se projetam, evitar navegar por dentro da isóbata de 20 metros;

(d) a data em que foi efetuado o levantamento é de grande importância, pois não só os primitivos trabalhos hidrográficos eram pouco precisos, como, também, com o tempo, os agentes naturais e o homem modificam notavelmente a configuração da costa e do fundo do mar. As correntes, as ressacas, os rios, as vagas e as marés produzem notáveis modificações, principalmente nas costas arenosas, abertas aos oceanos. As cartas náuticas com escala de 1:500.000 e maiores devem conter seu Diagrama de Levantamentos, que indique as datas, os limites, as escalas e outras informações sobre os levantamentos que deram origem à carta. O Diagrama de Levantamentos vem sendo incluído nas novas edições das cartas publicadas pela DHN. Algumas outras cartas possuem o Diagrama de Confiabilidade, ainda mais detalhado, que também fornece informações muito valiosas sobre os levantamentos que deram origem à carta;

(e) os vulcões, os terremotos, os maremotos, os tsunamis e, por fim, as ilhas coralígenas são outros tantos agentes que modificam, de uma só vez ou lentamente, os contornos dos continentes e a topografia submarina. As cartas antigas podem, ainda, apresentar erros nas longitudes, pois nem sempre estas foram determinadas com a precisão com que, atualmente, graças aos aperfeiçoamentos dos cronômetros e das transmissões de rádio, é possível fazê-lo. É necessário, pois, muito cuidado na passagem de uma carta para outra, devido à possível disparidade nas longitudes. O melhor método é o de marcação e distância, acima mencionado;

(f) as convenções, os símbolos, as abreviaturas e as precauções de segurança devem ser seguidas, observadas e reconhecidas com bastante atenção e cuidado. As setas nas cartas indicam a direção média das correntes. Não esquecer de corrigir a declinação magnética da sua variação anual;

(g) nunca devem ser feitas rasuras nas cartas. As informações já existentes e que forem canceladas devem ser riscadas a tinta violeta;

(h) ao examinar uma carta, assegure-se de que nenhum perigo assinalado, auxílio à navegação ou ponto notável tenha sido apagado pelo uso indevido da borracha;

(i) é também muito importante manter a carta sempre limpa, principalmente quando as posições plotadas são muito freqüentes; as marcações só serão traçadas nas proximidades da posição do navio, evitando-se prolongá-las desnecessariamente; e

(j) no caso de cartas estrangeiras, deve-se verificar se a área em que se vai navegar é coberta por cartas de mais de um país (por exemplo, inglesas e americanas) e, se for o caso, compará-las, pois às vezes umas mostram-se mais completas e detalhadas que as outras.

(5) Cartas-Piloto:

(a) A “National Imagery and Mapping Agency (NIMA) dos EUA edita os Atlas de Cartas-Piloto dos oceanos Atlântico Norte, Atlântico Sul, Pacífico Norte, Pacífico Sul e Índico. A DHN edita um Atlas de Cartas-Piloto, que abrange a costa da América do Sul, no trecho de Trinidad ao Rio da Prata; e

(b) as Cartas-Piloto apresentam, sob forma gráfica, informações úteis ou conclusões tiradas da hidrografia, oceanografia, navegação e meteorologia, que auxiliam o navegante a escolher as rotas mais rápidas e seguras. Além de informações oportunas de natureza variada, suas principais indicações se referem a ventos reinantes, temperatura do ar, temperatura da água do mar, correntes, pressões atmosféricas, percentagem de temporais, calmarias e nevoeiros, linhas de igual declinação magnética e sua variação anual e derrotas aconselhadas. As Cartas-Piloto são de grande utilidade na fase de Planejamento da Derrota (Estudo da Viagem), devendo ser sempre consultadas nessa etapa. Além disso, servem, também, na fase de Execução da Derrota, para informar os ventos, correntes, temperaturas, pressões e outros dados previstos.

(6) Correntes de Maré e Correntes Oceânicas:

(a) As correntes marinhas podem ser divididas em duas categorias: **correntes oceânicas** e **correntes de maré**;

(b) na prática, para manter o navio sobre a **derrota planejada**, existindo corrente, é necessário alterar o rumo, para compensar o efeito da corrente;

(c) os elementos da corrente (direção e intensidade) devem ser freqüentemente determinados pelo navegante, por comparação de uma posição observada com a posição estimada para o mesmo instante;

(d) a natureza e a origem das correntes dizem respeito à oceanografia; ao navegante interessa conhecer os seus efeitos sobre a derrota;

(e) navegando em canais, particularmente ao atravessar trechos correntosos, é imprescindível levar em conta o estado da maré e seus efeitos sobre as correntes; o navegante deverá calcular as horas da preamar e da baixa-mar e registrá-las a lápis na carta, nas proximidades da derrota traçada, para sua consideração no momento oportuno;

(f) a DHN publica **Cartas de Correntes de Maré** para os principais portos brasileiros (ver o Capítulo 10, Volume I), além de apresentar em algumas cartas náuticas informações sobre tais correntes;

(g) entretanto, não se deve supor que a direção e a intensidade da corrente de maré que se encontrará em uma determinada passagem ou canal serão exatamente as assinaladas na carta, pois os valores indicados representam as médias dos dados obtidos nos períodos de observação;

(h) assim, as informações das cartas náuticas e cartas de correntes de maré devem ser usadas no planejamento da navegação, sendo necessária sua verificação e, se for o caso, sua correção, durante a execução da derrota, pela comparação das posições observadas e estimadas, pelo deslocamento de objetos que flutuam, pela posição de embarcações fundeadas, pela observação de bóias, etc.;

(i) ademais, as horas das preamares e baixa-mares nem sempre coincidem com os instantes em que a **corrente de maré** inverte sua direção; afastado da costa, por exemplo, a corrente máxima ocorre nas horas de preamar e baixa-mar, ou seja, ao largo a preamar e a baixa-mar raramente coincidem com a mudança da corrente, cuja inversão se produz, em geral, a meia maré;

(j) as **correntes oceânicas** constituem o resultado do efeito combinado dos ventos e das variações de densidade (circulação termohalina); nos dois casos, os movimentos prosseguem muito além da região de origem; isto obriga o navegante, mesmo quando se deseja conhecer uma área limitada, a estender o estudo por regiões mais distantes;

(l) as **correntes oceânicas** se caracterizam por uma certa regularidade em sua direção e intensidade, e geralmente perduram no tempo; informações sobre estas correntes podem ser obtidas em cartas especiais, cartas-piloto, atlas oceanográficos e Rotéis; e

(m) em alguns trechos do litoral brasileiro (como, por exemplo, na costa gaúcha) foram observadas correntes deslocando-se para **W** (puxando para terra), em especial durante ou depois dos períodos de mau tempo, com ventos fortes de **SW**, em cujas circunstâncias os efeitos da corrente para **W** são de maior intensidade; o navegante deve ter atenção especial com essas situações.

(7) Ecobatímetro:

O ecobatímetro constitui um recurso essencial para a segurança da navegação. Na ausência de qualquer outra informação externa ao navio e na impossibilidade de obtenção de uma linha de posição, o ecobatímetro pode fornecer dados para orientar a navegação ou confirmar uma posição estimada. Se o indicador/registrador do ecobatímetro estiver localizado no camarim de navegação, estude a possibilidade de instalar um indicador remoto no passadiço. Mantenha o ecobatímetro permanentemente ligado, sempre que a profundidade estiver dentro do alcance do equipamento. Preste atenção contínua às profundidades indicadas pelo eco, comparando-as com as sondagens representadas na carta para as posições do navio. Exercite as técnicas de navegação batimétrica sempre que possível.

(8) Faróis:

(a) O alcance geográfico dos faróis indicados nas listas é calculado para uma altura do observador de 5 metros sobre o nível do mar e só é preciso em condições normais de refração. As nuvens baixas refletem, às vezes com grande intensidade, o clarão de um farol, muito antes dele ser avistado;

(b) nem sempre as cartas e as Listas de Faróis indicam os setores obscuros dos faróis. Pode acontecer, em certas posições, os faróis ficarem encobertos por uma montanha, por uma nova construção ou por árvores que cresceram;

(c) há vantagem em colorir, nas cartas náuticas, os vários setores de visibilidade de um farol, sendo oportuno lembrar que a cor vermelha não sobressairá quando iluminada por luz vermelha. Os setores de cores diferentes de um farol devem ser indicados nas cartas e nas listas; ter atenção aos encarnados, que sempre indicam zona suja ou perigosa; e

(d) os arcos de círculo traçados nas cartas ao redor do símbolo de um farol não representam o seu alcance, ou seja, não têm o objetivo de indicar a distância na qual se vê a referida luz; estes arcos mostram apenas os setores de visibilidade dos faróis.

(9) Fundeio:

(a) O filame para um fundeio seguro deverá ser de 5 a 7 vezes a profundidade do local;

(b) para maior segurança, a regra prática que se aplica hoje em dia, com base na experiência, para determinar o número de quartéis com que fundear é (considerando quartéis de 15 braças, ou 27,5 metros):

$$\text{nº de quartéis} = 2 \times \sqrt{\frac{\text{profundidade (metro)}}{2}}$$

(c) sempre que possível, investir o fundeadouro aroado ao vento e à corrente;

(d) se necessário, fundear com dois ferros; se o navio fundeia com duas âncoras, a direção da linha que as une deve ser aproximadamente perpendicular à dos ventos reinantes e correntes de maré;

(e) na seleção do ponto de fundeio, certificar-se de que o mesmo atende a todos os requisitos exigidos, conforme anteriormente mencionado;

(f) traçar na carta o fundeio de precisão (círculos de distância, marcação de guinada e referência de proa para a derrota final, marcação de largada do ferro, etc.) e, na execução da faina, adotar todos os procedimentos e cuidados recomendados (ver o Capítulo 8, Volume I); e

(g) após o fundeio, traçar o círculo de giro do navio e do passadiço e tomar todas as demais providências para verificação contínua da posição do navio e do comportamento da amarra.

(10) Hora Oficial e Hora de Verão:

(a) A Hora Legal oficial vigente em todo o litoral brasileiro é a do fuso horário **P** (+3^h), ou seja, é igual à Hora Média de Greenwich diminuída de 3 horas; o arquipélago de Fernando de Noronha e a ilha da Trindade observam a hora do fuso horário **O** (+2^h), isto é, a Hora Média de Greenwich diminuída de 2 horas;

(b) no período de outubro a fevereiro, em parte do Brasil é adotada a Hora de Verão, quando a hora oficial brasileira é adiantada de 60 minutos (figura 39.5);

(c) a relação dos Estados em que vigora a Hora de Verão e as datas de início e fim desta hora são divulgadas por “Avisos-Rádio aos Navegantes”, permanecendo o primeiro aviso em vigor durante todo o período (ver a figura 39.5).

Figura 39.5 – Aviso-Rádio G 0807/99 (Folheto “Avisos aos Navegantes” nº 3, de 15/02/2000)

G 0807 – Conhecimento Geral.

1 – Horário de Verão – Desde 030300Z/OUT/99, a Hora Oficial do Distrito Federal e dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Roraima, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul está adiantada em 60 minutos em relação à Hora Legal atual.

2 – Tábuas das Marés – Os navegantes deverão ter atenção em adicionar uma hora às lançadas nas Tábuas com relação aos portos nacionais dos Estados afetados.

(11) Instrumentos Náuticos:

O Encarregado de Navegação deve ter cuidado especial com os instrumentos náuticos, principalmente com os que envolvem sistemas óticos e mecanismos de precisão, como os sextantes, estadímetros, alidades telescópicas, círculos azimutais e cronômetros. Obedeça a todas as instruções para o manuseio e o armazenamento do referido material e exija que os subordinados também as cumpram. Familiarize-se com as instruções para retificação do sextante, ajustagem do estadímetro, corda no cronômetro, etc.

(12) Linhas de Posição de Segurança (ou de Perigo):

As linhas de posição (LDP) de segurança, ou de perigo, constituem um excelente recurso para garantir a segurança da navegação, auxiliando evitar áreas de perigo, mesmo que não se tenha a posição do navio perfeitamente determinada. O Encarregado de Navegação deve acostumar-se a utilizá-las, estudando a carta e os pontos notáveis disponíveis e traçando as marcações de segurança, círculos de distância, ângulos horizontais ou ângulos verticais de perigo.

(13) Luzes de Navegação:

(a) O navegante deve familiarizar-se com todas as informações contidas no RIPEAM sobre luzes de navegação (alturas das luzes, alcances, cores, setores que devem abarcar, etc.);

(b) a limpeza das lentes ou vidros que as protegem, os circuitos de alarme e as luzes de emergência devem ser verificados com frequência; e

(c) à noite, verificar se a iluminação do navio não interfere com as luzes de navegação.

(14) Providências relativas a postos:

(a) É aconselhável que, ao ser tocado “GUARNECER DETALHE ESPECIAL PARA O MAR”, o Encarregado de Navegação já esteja com toda a sua Equipe de Navegação a postos e devidamente instruída quanto à manobra a ser efetuada. O Encarregado de Navegação deverá ter às mãos um “check list”, contendo todos os passos a serem realizados pela Navegação. Lembrar, também, de instruir a equipe de navegação radar do CIC/COC, especialmente se houver previsão de visibilidade restrita;

(b) ao ser tocado “POSTOS DE INCÊNDIO” ou “COLISÃO”, o Encarregado de Navegação deverá entregar ao Comandante os dados relativos à posição do navio, com direção e velocidade do vento e da corrente, além de informações sobre a terra mais próxima. Ao ser tocado “GUARNECER POSTOS DE ABANDONO”, deverão ser divulgadas pelo fonoclama, ou meio de comunicação mais eficiente, as seguintes informações para o abandono do navio:

- Posição do navio (Latitude, Longitude);
- Hora do abandono;
- Fuso horário;
- Profundidade local;
- Declinação magnética;
- Terra mais próxima (nome, marcação magnética, distância, se amiga ou inimiga);
- Vento (direção e intensidade);
- Corrente (direção e intensidade); e
- Temperatura da água do mar e tempo de sobrevivência previsto.

(c) além dessas observações, o Encarregado de Navegação deverá entregar às embarcações de salvamento cartas, cronômetros, sextantes, compassos, réguas, tábuas, almanaques, etc. (ver o Capítulo 43).

(15) Publicações de Segurança da Navegação:

(a) Recomenda-se aos navegantes que façam uso sistemático das publicações de segurança da navegação, em suas últimas edições, corrigidas e atualizadas;

(b) tudo o que se refere a faróis, balizamento luminoso, sinais de cerração e sistemas de balizamento deve ser consultado na Lista de Faróis. Para balizas e bóias cegas, consultar a Lista de Sinais Cegos;

(c) tudo o que se refere a auxílios-rádio à navegação marítima deve ser consultado na Lista de Auxílios-Rádio;

(d) tudo o que se refere à descrição da costa, informações sobre a demanda dos portos e fundeadouros, perigos, profundidades em barras e canais, informações meteorológicas, recursos de portos, estações de sinais visuais de toda natureza, etc., deve ser consultado nos volumes do Roteiro. Os folhetos de Avisos aos Navegantes posteriores a cada última atualização devem também ser consultados;

(e) é insistentemente recomendado aos navegantes ler com atenção as advertências sobre o uso das cartas e outras publicações de auxílio à navegação contidas nas “Informações Gerais” do Capítulo I do Roteiro, além dos avisos importantes e informações gerais que figurem nas introduções das demais publicações ou em notas de precaução próximas aos títulos das cartas;

(f) a hora indicada nas Tábuas das Marés para as preamares e baixa-mares previstas é a hora legal padrão para os portos ou locais a que se referem. Quando estiver em vigor horário de verão, deve ser somada 1 hora aos horários indicados nas Tábuas das Marés, para obter a preamar e a baixa-mar prevista em hora de verão; e

(g) é recomendado aos navegantes cooperarem no sentido de corrigir, ampliar ou confirmar as informações contidas nessas publicações.

(16) Radar de Navegação:

O Encarregado de Navegação deve estar familiarizado com a operação do radar de navegação, ou do radar de busca de superfície, se for utilizado para esse fim. Deve verificar periodicamente o alinhamento e a calibragem da repetidora do camarim de navegação e/ou do passadiço. Da mesma forma, deve manter o melhor entrosamento com a equipe de navegação radar do CIC/COC, supervisionando o seu adestramento, tal como faz com a equipe de navegação do passadiço, e instruindo-a antes de todas as entradas e saídas de porto, aterragens e fundeios de precisão. Ademais, o Encarregado de Navegação deve conhecer a técnica da navegação paralela indexada e utilizá-la sempre que possível.

(17) Segurança da Navegação:

(a) No reconhecimento da costa, com tempo bom, a terra ao longe se apresenta acinzentada e é difícil identificar qualquer ponto característico. As montanhas altas e isoladas aparecem a princípio como se fossem ilhas. Quando existe neblina ou cerração leve, as partes altas desaparecem primeiro, formando-se novo perfil dado pelas montanhas mais próximas e mais baixas. As posições do Sol e da Lua têm muita influência no aspecto da costa, devido à iluminação e sombras que provocam. Em noite escura, a terra parece estar mais próxima, principalmente se é alta; ao contrário, nas noites de luar, ela aparenta estar mais afastada. As sombras de nuvens no mar dão, às vezes, impressão de alto fundo; da mesma forma, em noite de luar, com vento fresco, as cristas das vagas se assemelham à terra e, à noite, uma chuva ligeira ao longe dá também a mesma impressão. Ter cuidado com isto, porque a tensão nervosa e o estado de espírito perturbam muito o observador. Notam-se objetos que se espera ver, com uma nitidez inacreditável, devido, simplesmente, à auto-sugestão;

(b) em zona pouco conhecida, não passar perto das embarcações de pesca; em geral, os pescadores colocam-se em lugares de alto-fundo ou pedras, que servem como atratores e tornam as águas mais piscosas;

(c) a velocidade reduzida em cerração é considerada pelos Tribunais Marítimos como sendo a “velocidade que permite a um navio, depois de avistar outro que esteja em rumo de colisão, parar ou dar atrás com tempo suficiente para evitar um abalroamento”;

(d) a marcação radiogoniométrica de um ponto pode ser traçada diretamente sobre a carta para a distância navio–radiofarol até 50 milhas; acima desse limite, corrigir a marcação radiogoniométrica da convergência dos meridianos. Quando o navio se aproxima de uma barca-farol ou de um sinal empregando radiomarcações, pode ser prevenido o risco de colisão evitando-se marcá-los exatamente pela proa;

(e) navegando entre bancos de coral, ficar em posição elevada de observação, se possível com o Sol pelas costas. Com mar calmo, escolhos e recifes não são visíveis; com mar picado e vento fresco, as pedras com 1 metro de água aparecem de cor escura e as com 2 ou 3 metros, cor verde claro; as águas profundas apresentam cor azul forte;

(f) durante a noite, o passadiço e o camarim de navegação não devem estar excessivamente iluminados, a fim de evitar o ofuscamento da vista quando observar um objeto externo qualquer. Lembre-se: “passadiço escuro, passadiço seguro”;

(g) não confundir altura da maré na preamar (“rise”) com amplitude de maré (“range”). A primeira é a altura acima do nível de redução da carta e a segunda é a diferença de alturas entre a preamar e a baixa-mar;

(h) dar grande atenção às precauções de segurança, rotas aconselhadas, zonas de separação de tráfego, alinhamentos, marcações de segurança, áreas de fundeio reservado aos navios de guerra e aos de quarentena, áreas de fundeio proibido, local de embarque e desembarque de práctico e às vistas panorâmicas da costa constantes das cartas;

(i) ter o máximo de atenção para nunca fundear em áreas onde existam cabos ou canalizações submarinos. O navio pode ser responsabilizado por qualquer avaria nessas instalações e ser obrigado a pagar indenizações de vulto;

(j) deverá ser feito um acompanhamento das condições atmosféricas reinantes na área (variação de pressão, temperatura, vento, tipo de nuvens, etc.), tendo atenção ao correto preenchimento e envio das mensagens “SHIP”;

(l) principalmente nas navegações de saída de porto, aterragem ou demanda do porto de destino, se o Encarregado de Navegação não conseguir determinar a posição do navio, tiver dúvidas, ou pressentir que uma situação de perigo possa estar se configurando, deve solicitar ao Comandante que pare o navio, cortando todo o seguimento, ou, até mesmo fundeando, se necessário, até que as dúvidas se esclareçam e a posição possa ser determinada com segurança; e

(m) o Encarregado de Navegação deve desenvolver o máximo de esforços em procurar cooperar para a segurança da navegação, recolhendo cuidadosamente todos os dados que possam interessar aos navegantes e informando aos serviços hidrográficos pertinentes as irregularidades observadas.

(18) Sistemas de Balizamento:

Ao viajar para portos estrangeiros, verifique em que região da IALA (Associação Internacional de Autoridades em Sinalização Náutica) estão situados. O Brasil, como se sabe, está localizado na Região B da IALA. Se os portos a serem visitados estiverem na Região A, será necessário familiarizar-se com o sistema de balizamento adotado nessa região, pois os sinais laterais têm sua cor invertida, com relação à Região B. Consulte a Lista de Faróis, que fornece todos os detalhes sobre o assunto. Lembre-se, também, que muitos países utilizam, nas suas águas interiores (“inland waters”), sinais especiais, diferentes dos padrões internacionais (os Roteiros e as Listas de Faróis correspondentes informarão sobre essa questão).

(19) Velocidade do Navio:

A velocidade do navio diminui em função das seguintes causas:

(a) Casco sujo – é regra supor que, em cada mês decorrido depois da saída do dique, perde o navio 0,1 nó para cada 10 nós de velocidade. Nos climas tropicais, as incrustações aumentam com muita facilidade e rapidez, especialmente em águas poluídas;

(b) efeitos do mar e do vento – vento fraco provoca uma perda de 2% de velocidade; porém, o vento forte pela proa pode ocasionar uma perda que chega a atingir 50%. O mar de proa faz perder velocidade, principalmente quando os hélices saem da água. Os balanços, da mesma forma, têm o mesmo efeito, porque se perde energia com o arrastamento da massa de água que acompanha o casco; e

(c) águas pouco profundas – navegando em águas pouco profundas, a velocidade no fundo é diminuída em função da velocidade, do deslocamento e da profundidade.

(20) Recomendações Finais:

(a) É aconselhável seguir sempre a derrota planejada. Mesmo os práticos, se bem que não pareçam, estão seguindo a “sua derrota”. As alterações de rumo que fazem são para trazer o navio para ela;

(b) a capacidade de se orientar rapidamente sem recorrer a instrumentos, baseando-se nas posições relativas e distâncias aproximadas à costa ou a outros acidentes, é o que constitui o “olho marinheiro”, faculdade natural que pode ser desenvolvida com a prática e a experiência. Todo Encarregado de Navegação deve procurar desenvolvê-la, o que é trabalhoso, mas muito útil. A experiência é adquirida com aplicação constante e aperfeiçoada pelo decorrer do tempo;

(c) mais vale uma boa estima do que uma posição determinada que não inspire confiança; na navegação astronômica, no caso de não poder ser obtida uma altura razoável, devido às más condições do horizonte, nebulosidade obscurecendo os astros, ou qualquer outro fator, será preferível não observar, a menos que a posição estimada seja tão precária que mereça ainda menos confiança do que um ponto obtido nessas condições;

(d) o Encarregado de Navegação deve estar familiarizado com as regras e as precauções especiais para navegação com mau tempo, disseminando-as e adestrando os Oficiais de Quarto e o pessoal que faz serviço no passadiço e tijupá, quanto aos procedimentos recomendados para esta situação;

(e) o Encarregado de Navegação deve preparar instruções para navegação em balsas salva-vidas e em outras embarcações de salvamento, além de promover adestramento a bordo sobre este assunto;

(f) caso o navio normalmente opere, ou eventualmente tenha que navegar, em áreas especiais, tais como rios ou áreas polares, o Encarregado de Navegação deverá estudar os procedimentos recomendados para navegação nestas áreas e promover adestramento a bordo das técnicas correspondentes;

(g) ao final da operação ou viagem, o Encarregado de Navegação deverá proceder a uma verificação completa dos instrumentos e equipamentos de navegação e meteorologia, do regimento de cartas náuticas e das publicações de segurança da navegação e providenciar os pedidos de fornecimento e de reparo que se fizerem necessários; e

(h) o Encarregado de Navegação não deve esquecer que o único responsável pela navegação do navio é o Comandante. Será, pois, uma falta de compreensão de seus deveres sentir-se molestado pelo fato do Comandante intervir na derrota, ou fazê-la por si mesmo.

40.1 A NAVEGABILIDADE DOS RIOS

a. CLASSIFICAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

Segundo a morfologia, é possível distinguir, de maneira esquemática, três tipos de cursos d'água: rios de alto curso, rios de médio curso (rios de planalto) e rios de baixo curso (rios de planície).

– Rios de alto curso

São rios que percorrem regiões altas e/ou acidentadas. Nestes rios são comuns as quedas rápidas e corredeiras; o gradiente de nível é, em geral, elevado e, conseqüentemente, é grande a velocidade de escoamento. As margens altas predominam e os rios raramente são largos e profundos. As condições de navegabilidade são precárias para embarcações de porte. Como vias de comunicações, tais rios são muito deficientes, embora possam admitir a realização de transportes modestos em volume e curtos em distância, mediante o emprego de embarcações menores. As terras que os circundam são, geralmente, pouco sujeitas a alagamentos extensos.

– Rios de médio curso (rios de planalto)

Estes rios também apresentam obstáculos para a navegação, tais como rápidos, corredeiras e trechos com pedras e/ou pouca profundidade; mas os obstáculos não são muito freqüentes e, entre eles, a navegação é possível, se bem que nem sempre fácil, para embarcações maiores. Assim, os rios de planalto apresentam, normalmente, uma sucessão de

estirões mais ou menos extensos, com pouca declividade e boas condições naturais de navegação, interrompidos por desníveis que formam rápidos, corredeiras ou quedas, por vezes de elevada altura, que tornam difícil, se não impossível, a transposição por embarcações.

Os rios de médio curso podem ser usados como vias de navegação de maneira bem mais eficiente que os de alto curso, ao menos entre os trechos críticos ou entre os grandes obstáculos, embora, em geral, os canais de navegação sejam mais ou menos estreitos (apesar de relativamente estáveis), o que exige dos condutores das embarcações muita prática local. É preciso reconhecer, também, que nestes rios, nas épocas das enchentes, os trechos críticos tendem a oferecer menos dificuldades para a navegação. No Brasil, são rios de planalto o Paraná e seus afluentes; o São Francisco; o Tocantins, a montante de Tucuruí; o Negro, acima de Santa Isabel do Rio Negro; e o Branco, acima de Caracaraí.

– Rios de baixo curso ou de planície

São os mais favoráveis à navegação, caracterizados por uma declividade suave e regular. Os rios de planície são, em geral, razoavelmente largos e apresentam pequeno gradiente de nível. A navegação é relativamente fácil, se bem que possam existir obstáculos, como os bancos que costumam formar-se nas bocas dos tributários e nas partes convexas das curvas. É comum haver bifurcações (paranás, igarapés), que formam ilhas fluviais e criam alternativas para a navegação. As margens baixas, facilmente alagáveis, são a regra geral. Os baixos cursos abrangem os deltas e os estuários.

A maior parte dos rios da Amazônia brasileira é constituída por rios de baixo curso (rios de planície). A calha principal do Solimões–Amazonas acha-se incluída nesta classificação. Muitos de seus tributários também, alguns deles ao longo de grandes extensões, principalmente na Amazônia Ocidental (Juruá, Purus, Madeira, Içá e Japurá), outros, ao menos nas proximidades do rio principal (como ocorre na Amazônia Oriental). O rio Paraguai também enquadra-se nesta classificação.

Nem sempre os baixo e médio cursos são separados por obstáculos naturais relevantes, como o trecho de corredeiras e cachoeiras do Tocantins, entre Tucuruí e Jatobal. Por exemplo, os trechos inferiores do Acre, do Xapuri e do Yaco podem ser considerados como **rios de médio curso**, mas a transição das características de **baixo curso** do Purus para as de **médio curso** desses rios é lenta. Aliás, quando não existem obstáculos marcantes separando os cursos, os limites oscilam ao longo do ano, subindo os rios na época da enchente e descendo na época das águas baixas.

Como já vimos acima, durante as cheias os obstáculos do médio curso são geralmente menos críticos e, em certos rios, os próprios obstáculos que definem os limites dos cursos podem ser transpostos por embarcações de médio porte; este é o caso, por exemplo, do rio Branco. Por outro lado, existem rios, como o Mamoré-Guaporé e o Araguaia, cujas características gerais, como a declividade, a vazão, a largura, etc., os aproximam da classificação de **baixo curso**, embora sejam rios localizados a montante de obstáculos naturais relevantes. É preferível, no entanto, mantê-los classificados como de **médio curso**, já que não estão francamente integrados no sistema de navegação de **baixo curso**.

As condições de navegabilidade dos rios de médio curso e, principalmente, dos rios de baixo curso (rios de planície) também dependem do tipo de fundo do seu leito. Rios de leito pedregoso normalmente têm um canal estreito, embora estável. Por outro lado, rios de fundo de lama, barro ou argila são, em geral, de formação mais recente, sendo caracterizados por instabilidade do leito e por apresentarem um canal sinuoso,

apesar de razoavelmente profundo. Rios de fundo de areia apresentam, quase sempre, um canal altamente variável entre o inverno (estação chuvosa) e o verão (estio); à medida que as águas baixam, com o conseqüente aumento da corrente, o rio vai cavando no leito arenoso um canal, conhecido na Amazônia como canal de verão. No começo do inverno, este canal continua sendo o canal principal, pois será o de maior profundidade do leito. Conforme a cheia avança, o rio tende a nivelar-se, ficando profundo quase que de margem a margem, até que um novo ciclo recomeça e surja um outro canal, de configuração diferente do anterior.

– Outras categorias

A morfologia permite, ainda, distinguir os **rios costeiros**, que, no caso do Brasil, descem diretamente do planalto central brasileiro para o Oceano Atlântico e estão distribuídos ao longo da costa oriental do país, desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul. A principal característica desses rios é possuírem bacias vertentes reduzidas e leitos escavados em terrenos geralmente cristalinos. Os seus perfis longitudinais não são regulares e apresentam uma sucessão de estirões e travessões. Portanto, não oferecem, em sua maioria, qualquer condição natural que favoreça a navegação.

No caso do Brasil, as condições climáticas gerais resultam em que os rios da **zona equatorial** sejam, em geral, mais regulares, graças à distribuição mais homogênea das chuvas, ao longo de todo o ano. Por outro lado, os rios da **zona tropical** são, normalmente, mais irregulares, face ao contraste das cheias de verão e as estiagens de inverno. As condições de navegabilidade, portanto, diferem muito, segundo as estações. Dentro dessa mesma zona, encontram-se os cursos d'água do Nordeste semi-árido, verdadeiros “wadi” (rios torrenciais), que podem se tornar bastante perigosos após os temporais. Os rios da **zona subtropical**, por sua vez, também são relativamente irregulares, apesar da possibilidade de chuvas em todas as estações, que podem produzir grandes cheias, em qualquer época do ano; estes rios estão, ainda, sujeitos a estiagens rigorosas.

b. PRINCIPAIS CLASSES DE HIDROVIAS

É necessário introduzir alguns conhecimentos sobre vias navegáveis, essenciais para melhor compreensão das peculiaridades da navegação fluvial. Não iremos sequer fazer um resumo da matéria, mas apenas localizar os aspectos que, mais de perto, condicionam este tipo de navegação.

Excluídos os lagos e lagoas navegáveis, podemos dividir as vias navegáveis interiores em 3 classes:

- **Rios de corrente livre;**
- **Rios canalizados;**
- **Canais.**

– Rios de corrente livre

Os rios de corrente livre são os naturalmente navegáveis, em que não há barragens em seu curso. Sem perder, entretanto, esta característica, eles podem ter as suas condições de navegabilidade sensivelmente melhoradas, por meio de três principais processos, que podem ser usados isolada ou conjuntamente, a saber:

- **Regularização do leito;**
- **regularização da descarga; e**
- **dragagem.**

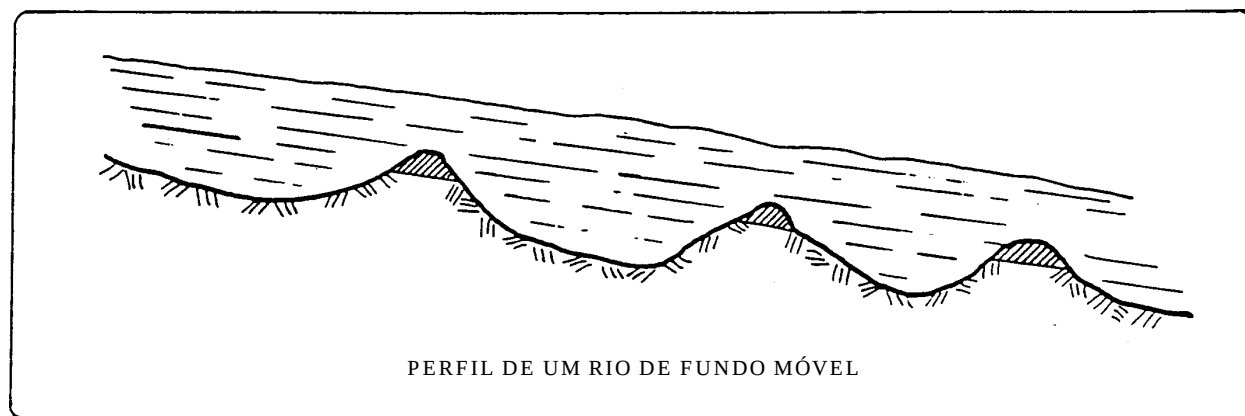
Além disso, outros serviços também contribuem significativamente para melhoria das condições de navegabilidade, como a existência de **cartas náuticas** adequadas, de um **balizamento** eficiente e de um **sistema de divulgação do nível do rio** em diversas estações fluviométricas ao longo da hidrovia.

A **regularização do leito** consiste em modificar, obedecendo a determinadas regras, as formas naturais do mesmo, atuando principalmente sobre o traçado em planta, obtendo-se, com isso, melhoria nas características da hidrovia, inclusive sobre a profundidade mínima. Este processo foi largamente utilizado nos séculos passados, mas hoje, quer devido ao custo, quer devido aos resultados limitados que, em geral, proporciona (principalmente se a vazão é pequena), quer, ainda, devido à necessidade de barrar os rios para outros fins, só é empregado para resolver certas passagens difíceis ou defeituosas, e não mais sistematicamente.

Quanto à **regularização da descarga**, que resulta da implantação de reservatórios a montante do trecho navegável ou nos afluentes, não vamos entrar em maiores detalhes, tais as suas vantagens evidentes, não só para a navegação mas, também, para as demais utilizações da água. No Brasil, a barragem de Três Marias tem efeito regularizador sobre o Médio São Francisco. As barragens dos rios Grande, Paranaíba, Paraná e Tietê atuam sobre a hidrovia Tietê–Paraná e a barragem de Boa Esperança atua sobre 600 km do rio Parnaíba.

Com relação ao processo de **dragagem**, também já experimentado entre nós, inclusive no rio São Francisco, consiste em aprofundar periodicamente os pontos altos do canal navegável. O perfil batimétrico do canal navegável em um rio de fundo móvel toma o aspecto de uma sucessão de longos trechos com boas profundidades, separados por curtos trechos de baixa profundidade (“passos”), que dificultam a navegação e limitam os calados das embarcações. A figura 40.1 representa a forma geral observada e, em hachura, os cortes que seriam abertos por **dragagem**. Esses baixios se recompõem durante cada enchente, de modo que a dragagem tem que ser permanente.

Figura 40.1 – Dragagem para Melhoramento do Leito (Rio de Corrente Livre)



Atualmente, vem sendo empregado um processo para aprofundamento dos baixios que dispensa dragagens. Foi descoberto em laboratório, mas já foi usado na prática, inclusive em rios da África. Consiste na colocação de dispositivos fixos ou flutuantes, no

fundo, a montante do baixio a desbastar, em posição estudada, de modo a reproduzir artificialmente o movimento helicoidal das águas, que se verifica naturalmente nas curvas dos rios, fenômeno bem conhecido. O processo ainda não foi empregado em nossos rios, apesar das recomendações a respeito.

Das várias características para que um rio seja naturalmente navegável, nos deteremos apenas nas duas principais:

- **Vazão mínima; e**
- **declividade.**

Não se pode determinar, de um modo geral, a **vazão mínima** abaixo da qual não seja possível a navegabilidade nos **rios de corrente livre**. Cada rio exigiria um estudo especial, mas, como número médio, pode-se aceitar $50\text{m}^3/\text{s}$ e, assim mesmo, proporcionando condições precárias. Nesses casos, desde que se estudem e se construam embarcações apropriadas, e se dê organização adequada ao tráfego, as hidrovias poderão prestar excelentes benefícios às regiões servidas. Apenas como exemplo, cita-se que a vazão de estiaagem do rio Cuiabá, na altura da cidade de Cuiabá, é de $90\text{m}^3/\text{s}$.

Quanto à **declividade**, há que ser baixa, para que o rio seja naturalmente navegável. Também não é possível fixar um número absoluto que delimite o rio navegável do não navegável, mas pode-se afirmar que com até 25 centímetros por quilômetro, satisfazendo outras condições, o rio é navegável. Daí para cima, em geral, começam a aumentar as dificuldades e os perigos à navegação. A velocidade das águas cresce e as obras corretivas se avolumam. O Ródano e o Reno (a montante de Estrasburgo) são rios de declividade forte, bem superior ao limite acima citado. Obras caríssimas foram empreendidas nesses rios em outros tempos, até que se resolveu pela sua canalização. Alguns números dos nossos rios: o Amazonas tem uma **declividade** baixíssima, de 2 a 3 cm/km; a do rio Paraguai, no trecho brasileiro, é da mesma ordem; o São Francisco, entre Pirapora e Juazeiro, tem ótima **declividade** para navegação, cerca de 9 cm/km; o rio Jacuí, no Rio Grande do Sul, da foz até Cachoeira possui uma **declividade** natural de 6cm/km, mas com algumas descontinuidades.

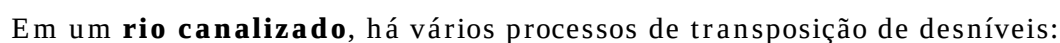
– Rios canalizados

Construindo-se uma série de barragens com eclusas (ou outro meio de transposição de desnível) ao longo de um curso d'água, teremos um **rio canalizado**. O termo “**canalizado**”, em nossa língua, pode dar uma impressão falsa, de confusão com outros tipos de obras nos rios ou riachos, geralmente feitas quando estes atravessam cidades. Seria melhor, talvez, que os chamássemos de **rios represados** (figura 40.2). Se as barragens são móveis, o rio volta a ser de corrente livre durante as cheias.

Com a canalização, desaparecem as limitações de **vazão mínima** e **declividade**. Pode-se transformar um rio de pequeno porte ou encachoeirado em uma excelente hidrovia, abrindo, assim, novas áreas à navegação. Nos rios já naturalmente navegáveis, consegue-se um salto nas condições de navegabilidade. De certo modo, o **rio canalizado** pode ser comparado com a grande hidrovia que é o oceano. Na via marítima, as limitações de largura e profundidade do canal se encontram, em geral, no acesso aos portos e terminais; nos **rios canalizados** tais restrições, normalmente, se situam nas proximidades do pé das barragens e eclusas, ou outras obras de transposição.

A velocidade das águas fica reduzida a valores ínfimos nos sucessivos lagos que se formam, interligados por eclusas ou elevadores de navios.

Figura 40.2 – Rio Canalizado



É processo utilizado e conhecido no Brasil há bastante tempo, tendo sido empregado em vários casos. Embora sua concepção seja antiga, nos últimos decênios as **eclusas** foram objeto de numerosos melhoramentos. Reduziram-se os custos de construção e,

principalmente, a duração da esclusagem, que representa perda de tempo para as embarcações (figura 40.4).

O custo de uma eclusa torna-se proibitivo quando ela ultrapassa a altura ideal para a transposição, que é de 25 metros. Acima deste valor é preferível prever uma série de eclusas (embora os barcos venham a perder muito tempo), ou outro processo de transposição.

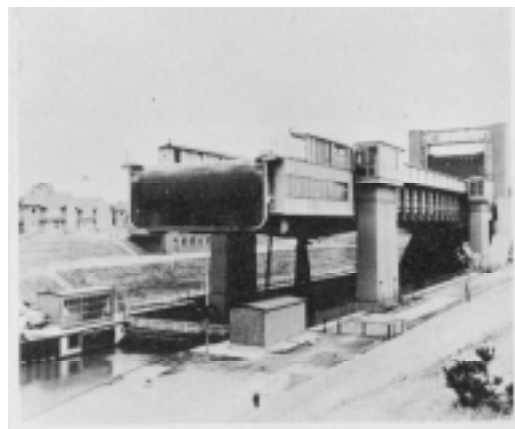
- **Elevadores de embarcações**

Quando o ascensor é vertical, denomina-se **elevador de embarcações**. O elevador é constituído por uma cuba, em forma de paralelepípedo, munida de partes móveis nas duas extremidades, para possibilitar o acesso das embarcações (figura 40.5). A cuba é mantida cheia de água, para garantir a flutuação das embarcações e, uma vez a embarcação no seu interior, a mesma é elevada ou abaixada, permitindo a transposição dos barcos de um nível a outro. O movimento vertical da cuba é assegurado por cabos e contrapesos, ou por flutuadores cilíndricos com eixo vertical.

Figura 40.4 – Eclusa



Figura 40.5 – Elevador de Embarcações

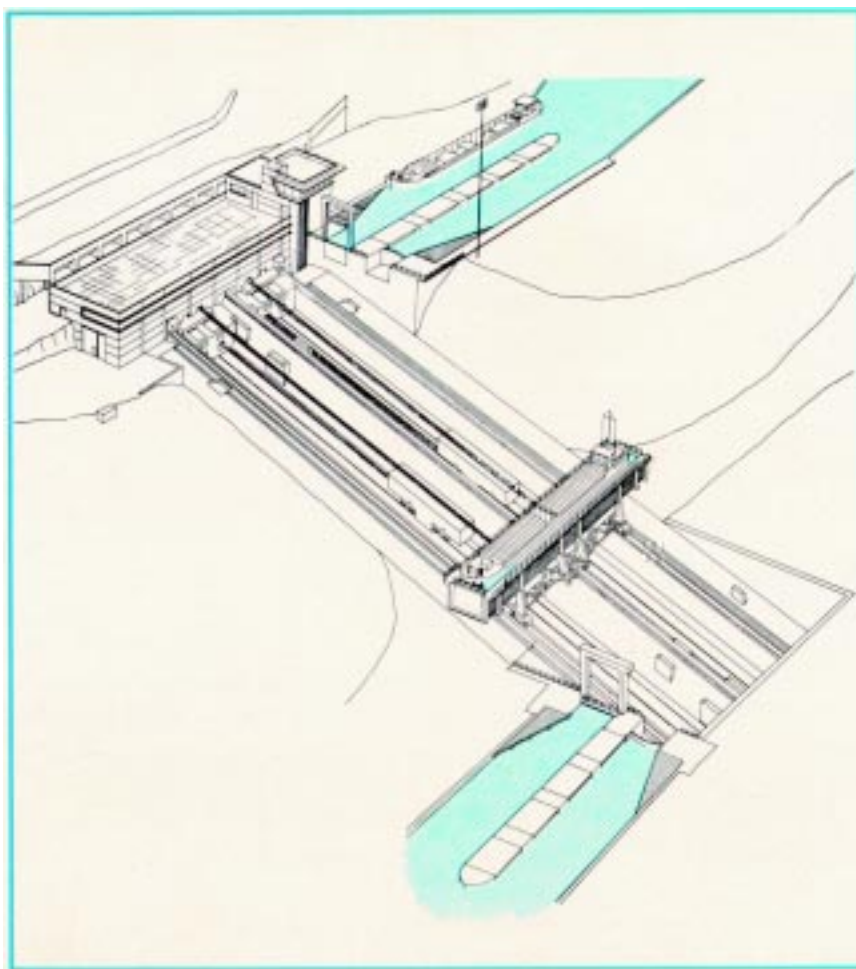


QUANDO O DESNÍVEL EXISTENTE ENTRE DOIS ESTIÕES NAVEGÁVEIS FOR MUITO GRANDE, TORNA-SE NECESSÁRIA A CONSTRUÇÃO DE UM ELEVADOR DE EMBARCAÇÕES

- **Plano inclinado**

Quando o ascensor efetua a sua trajetória em declive, chama-se **plano inclinado**. O **plano inclinado** também é constituído por uma cuba, que se move percorrendo uma trajetória inclinada. O movimento pode ser longitudinal, segundo o eixo da embarcação, ou perpendicularmente. No primeiro caso, o plano inclinado é denominado “**longitudinal**”; no segundo, “**transversal**” (figura 40.6). A vantagem do **plano inclinado transversal** é que as oscilações no plano d’água são menores e a posição de parada, nas extremidades, é mais fácil. Por outro lado, o canal de acesso, em sua parte superior é, em geral, muito oneroso.

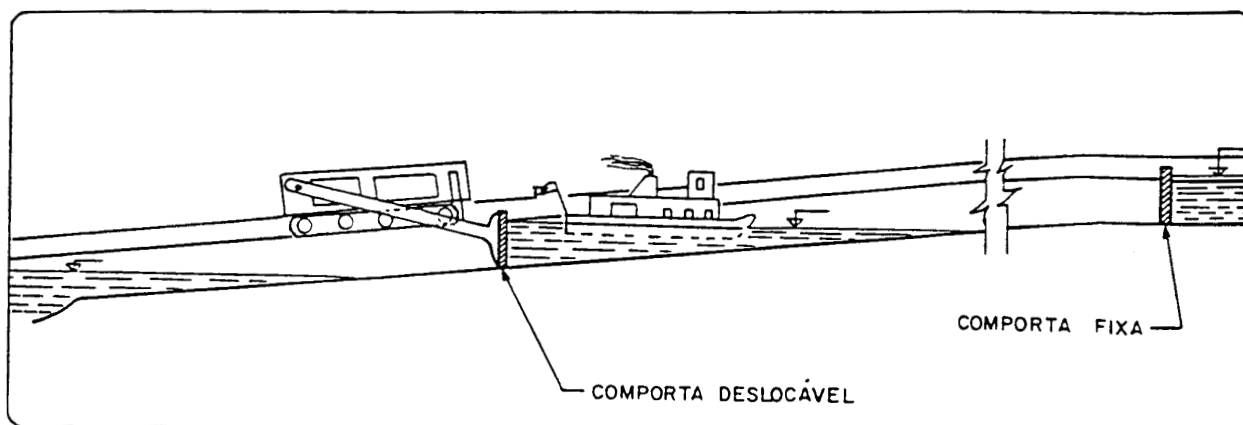
Figura 40.6 – Plano Inclinado Transversal



- **Rampa líquida (“Pente d’eau”)**

É um processo novo. A cuba móvel e os equipamentos mecânicos, muito onerosos, são substituídos por um canal inclinado, onde a embarcação circula em um prisma de água, empurrada por um veículo sobre pneumáticos (figura 40.7). A **rampa líquida** assegura a continuidade da hidrovia, não sendo mais necessário a embarcação deixar o canal para entrar numa cuba.

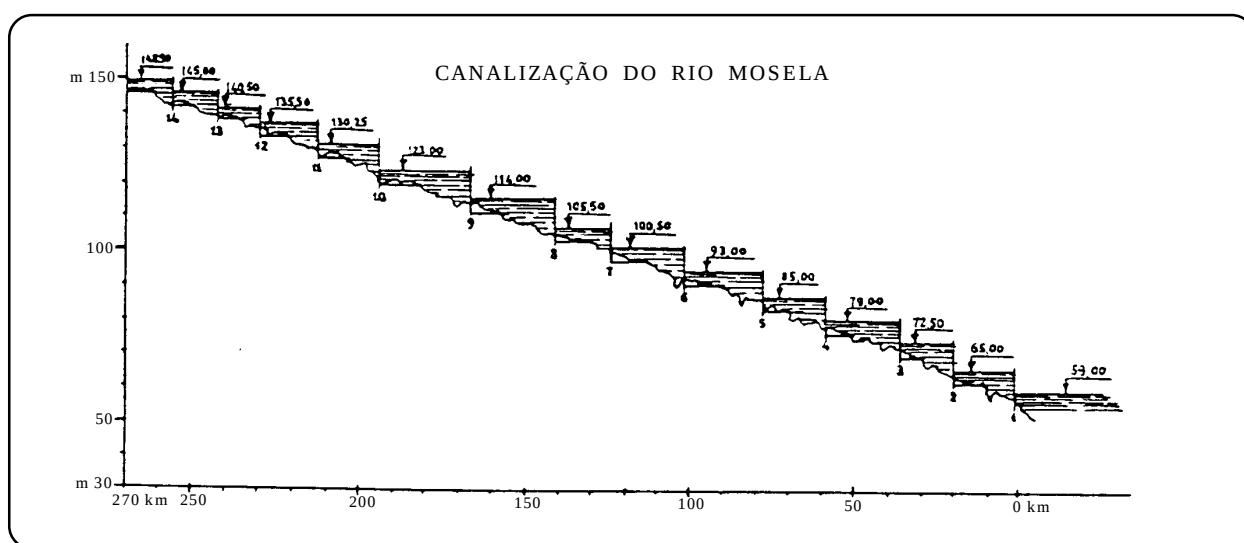
Figura 40.7 – Rampa Líquida



Assim, a **rampa líquida** consiste em um canal de seção uniforme, com declividade que pode alcançar até 5%, no qual uma comporta móvel desloca um prisma de água onde flutua a embarcação, como se pode ver na figura 40.7. Quanto ao custo, especialistas consideram que, acima de 20 metros de desnível, a **rampa líquida** é mais vantajosa que a eclusa, abrindo novas perspectivas para canalização de rios e interligação de bacias.

Para canalização do rio Mosela, afluente do Reno, na extensão de 270 km, vencendo um desnível de 90 metros, foram construídas 14 barragens (figura 40.8), cada uma com usina elétrica, uma pequena eclusa para embarcações de recreio, escada de peixe, uma rampa líquida para barcos de esporte e a eclusa principal, medindo 170 m x 12 m x 3,5 m. Posteriormente, a canalização prosseguiu para montante, em mais 70 km.

Figura 40.8 – Perfil de Rio Canalizado



A impossibilidade de inundação de grandes áreas na Europa, com exceção da Rússia, obriga a um grande número de barragens, de alturas reduzidas. No Mosela, por exemplo, o espaçamento médio entre as barragens é de apenas 20 km. Já no Tennessee, a distância média entre as barragens é de 140 km. No Tietê, nas barragens de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga, os remansos medem, respectivamente: 140, 60 e 70 km. Em Três Marias o remanso alcança 150 km; em Ilha Solteira, 180 km; e em Boa Esperança, no Parnaíba, 150 km.

– Canais

Os **canais** podem ser definidos como vias navegáveis interiores completamente artificiais, em oposição às vias navegáveis naturais. Há duas classes principais de canais: os **canais laterais** e os **canais de partilha**. Os **canais laterais** são usados quando o melhoramento de um trecho do rio é de tal modo difícil ou oneroso que se torna preferível construir lateralmente um canal inteiramente artificial, que pode ser dividido em vários planos d'água, ligados por eclusas ou elevadores. A figura 40.9 indica o Grande Canal da Alsácia, canal lateral do Rio Reno, concluído na década de 1970. Os **canais de partilha** (ou **canais de ponto de partilha**) são os de interligação de hidrovias (ou de bacias hidrográficas). O canal Pereira Barreto, interligando o rio Tietê com o rio Paraná a montante da barragem de Ilha Solteira, constitui um exemplo deste tipo de canal. O canal do Norte (figura 40.10) é outro exemplo de **canal de partilha**, atravessando dois divisores de água. O rio Somme, entre os dois, passa sob o canal, por meio de um sifão.

Há cerca de 10 anos foi inaugurado o Canal Reno–Meno–Danúbio, orgulho da engenharia européia e exemplo notável de canal de interligação de bacias. O canal possibilitou a integração do Mar do Norte ao Mar Negro, beneficiando oito países da Europa. A integração dessas bacias demandou a construção de uma série de barragens e eclusas, e incorporou os conceitos de uso múltiplo dos recursos hídricos (inclusive como economizadores de água).

Figura 40.9 – Canal Lateral e Canal de Interligação

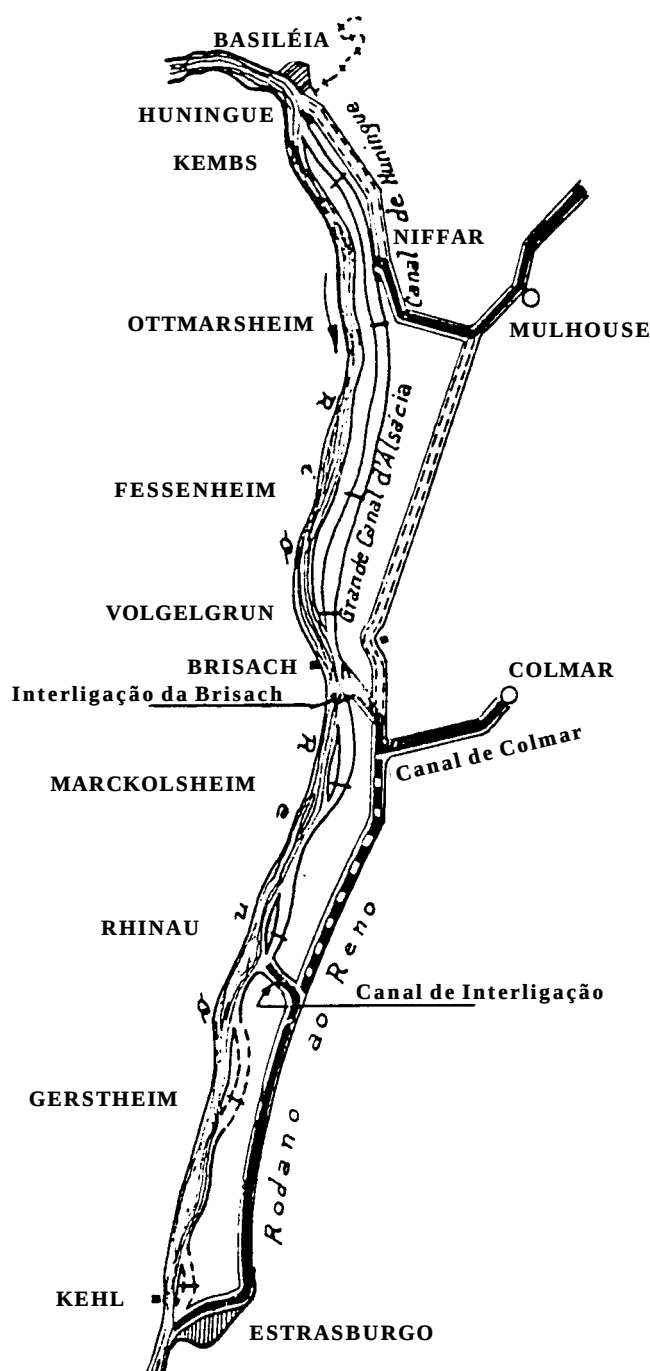
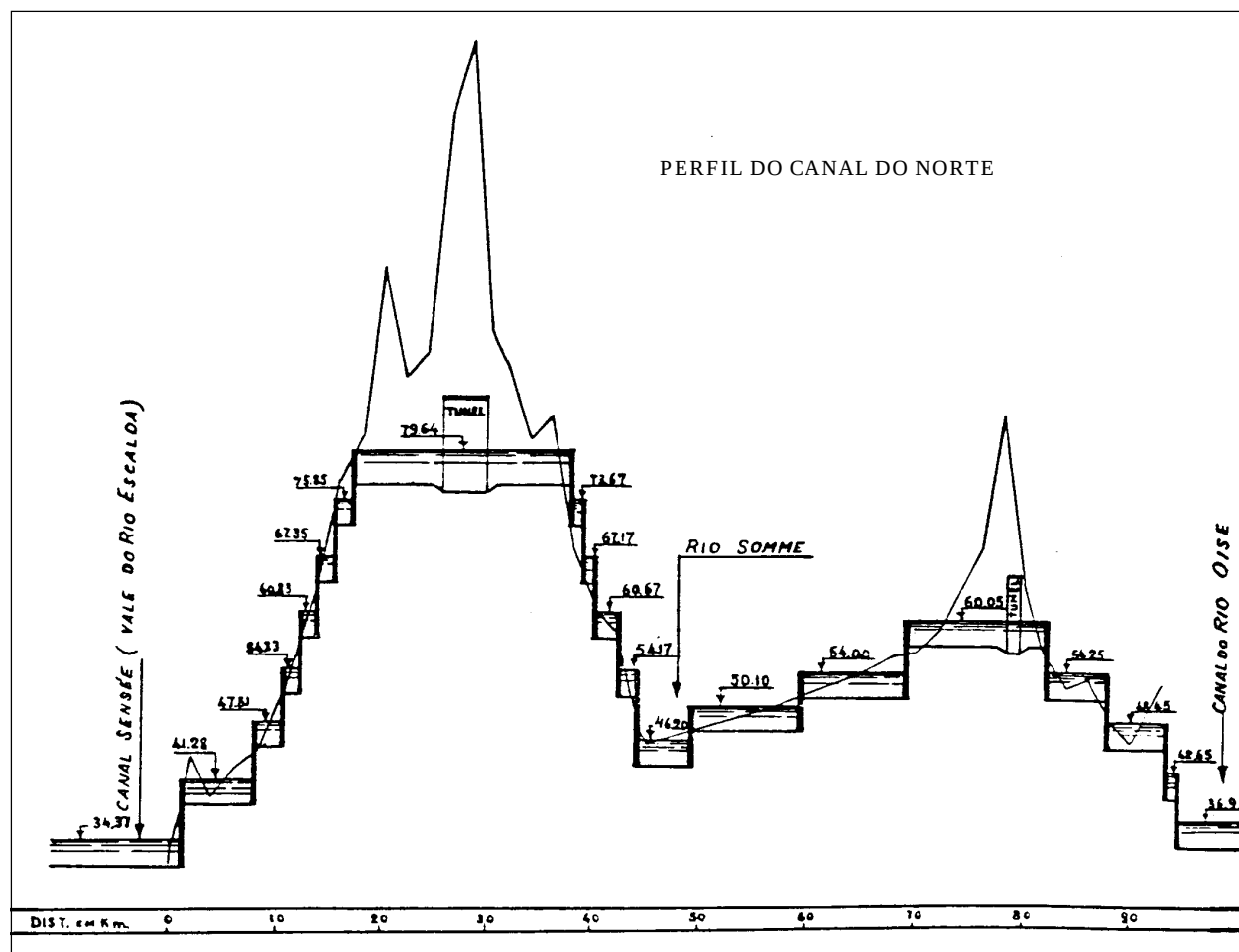


Figura 40.10 – Canal de Interligação (Canal de Partilha)



c. TRABALHOS DE MELHORAMENTO NOS RIOS DE CORRENTE LIVRE

Além da cartografia náutica, do balizamento e do sistema de divulgação do nível do rio, que abordaremos adiante, torna-se oportuno comentar alguns detalhes dos seguintes trabalhos, que podem ser executados no leito dos **rios de corrente livre** para melhorar suas condições naturais de navegabilidade:

- Limpeza do leito (retirada de troncos e árvores caídas);
- dragagem;
- derrocamento;
- correção de traçado, fechamento de falsos braços; e
- fixação de margens.

A **retirada de troncos, árvores caídas e galhos semi-enterrados** no leito é, sem dúvida, trabalho preliminar de grande utilidade, pois esses obstáculos constituem sérios perigos para as embarcações. É preciso considerar, entretanto, que, em muitos de nossos rios, essa tarefa será inócua.

Em grande número de rios, principalmente da Amazônia, há uma verdadeira floresta enterrada, em camadas superpostas, que vão aparecendo à proporção que se retiram as

primeiras. Além disso, a instabilidade das margens e as mudanças contínuas do leito, às vezes repentinas, como as decorrentes das “terras caídas” *, põem a perder trabalhos penosos e caros. Algo, porém, se pode fazer neste setor, em rios onde as condições são diferentes. Em algumas hidrovias, por exemplo, é necessário realizar periodicamente a remoção de balseiros, camalotes, aguapés e outras plantas aquáticas que descem os rios, concentrando-se em determinados locais e formando grandes ilhas flutuantes, que chegam a obstruir completamente a via navegável.

A **dragagem** dos baixios tem que ser feita periodicamente, pois, após cada enchente, ou simples repique, ocorrerão variações, podendo-se restaurar completamente o primitivo perfil do fundo. No item anterior, na parte referente aos processos gerais de melhoramentos de rios, já falamos sobre **dragagem**. Apenas acrescentaremos que os serviços de dragagem terão que ser realizados em poucos meses do ano (3 ou 4 meses), pois só adianta iniciá-los depois de passada a enchente, e devem estar concluídos antes do rigor da estiagem, exigindo, portanto, numerosos equipamentos.

O **derrocamento**, via de regra, só dá bons resultados onde não houver forte **declividade**, característica das corredeiras. Simples “travessões” ou “empedrados”, com pequenos desníveis, podem, entretanto, ser consideravelmente melhorados. Cada caso, então, exige levantamentos e estudos prévios, sem o que se corre o risco de gastar dinheiro sem proveito, ou até com efeitos negativos. O uso de explosivos está praticamente condenado para serviços dessa natureza. O **derrocamento** deve ser executado por percussão, com equipamento adequado.

As técnicas de melhoramento acima descritas são denominadas de **melhoramentos menores**, ou **melhoramentos gerais**, e têm o propósito de facilitar as condições naturais de navegação ao longo de determinada hidrovia, sem, porém, a preocupação de se criarem novas condições de navegabilidade, para o uso de novos tipos de embarcações.

Por outro lado, as técnicas de **melhoramentos maiores** pressupõem trabalhos de grande vulto, especialmente quando praticadas em toda a extensão da hidrovia. A **correção do traçado**, dando ao curso do rio curvas devidamente concordadas, larguras adequadas e a conseqüente fixação das margens, constitui um exemplo dessas técnicas.

A modificação do leito original do rio, denominada de **regularização** ou **melhoramento a corrente livre**, depende da natureza do leito. Podem ocorrer duas hipóteses: leitos de natureza rochosa ou leitos de natureza aluvionar.

Leito rochoso

Quando um rio atravessa áreas rochosas, o trabalho de erosão não está muito avançado. Estas áreas são, em geral, constituídas por trechos de grande declividade, denominados de “corredeiras”. Algumas vezes, essas corredeiras estendem-se por dezenas de quilômetros. O leito, conservando uma declividade média razoável, apresenta trechos onde o declive é bem grande. As larguras do leito são, como o relevo em geral, bastante irregulares e dão lugar a grandes variações na velocidade da água.

Essas corredeiras criam obstáculos à navegação. Os processos de **regularização** utilizados nesse caso são os seguintes:

* “Terras caídas”: expressão regional da Amazônia, que significa o barranco desagregado e derruído pelas águas. Nas vazantes, o solo, as árvores e até casas são arrastadas pelas “terras caídas”.

- Diques de contração lateral, que reduzem a largura do curso d'água, aumentam a profundidade, regularizam os declives superficiais e diminuem o seu valor médio; e
- derrocamento, isto é, o aprofundamento na massa rochosa de um canal de profundidade e largura suficientes.

Normalmente, os dois processos se apresentam associados.

Entretanto, o método seguro para se vencer esses obstáculos é o abandono do leito original do rio e a **canalização** do curso (elevação do nível mínimo das águas, através de barragens) ou a construção de um **canal lateral** (criação, numa das margens, de um canal artificial, cuja implantação será, de acordo com o caso, mais ou menos próxima do curso d'água).

Leito aluvionar

Num leito aluvionar, os obstáculos são os baixios que separam dois estirões navegáveis sucessivos. Os baixios e os estirões se sucedem; os baixios são móveis e têm as suas características (altura e extensão) modificadas a cada cheia ou estiagem do rio. Tais baixios constituem verdadeiras barragens naturais, fazendo com que o escoamento se realize de um estirão para o outro, como num vertedouro mais ou menos inundado. Quando dois estirões sucessivos se situam fora do mesmo alinhamento, surge um “passo”, isto é, uma passagem crítica, onde as dificuldades de navegação são, em geral, grandes.

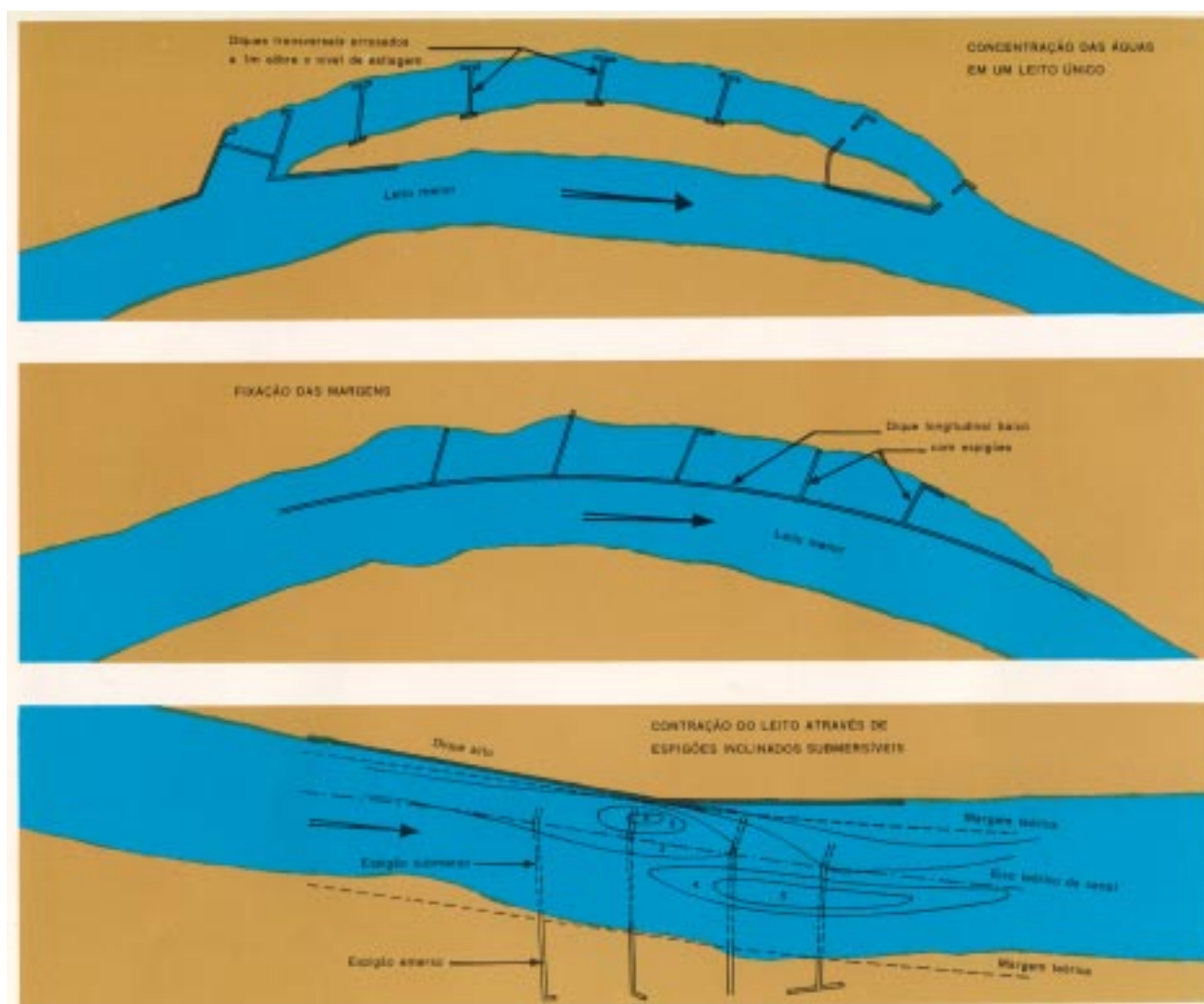
O método de **regularização a corrente livre** consiste na utilização de várias técnicas para reunir num leito menor as águas baixas, fixar nesse leito a posição dos estirões e, conseqüentemente, a dos baixios, e regular a direção dos baixios, perpendicularmente à margem. Este método é denominado de **Girardon**, nome do engenheiro francês que o utilizou no Ródano, há cerca de 1 século, retificando-o em plano e em perfil e estabilizando o seu leito. Sua aplicação exige um conhecimento muito detalhado do rio.

A figura 40.11 mostra várias técnicas de melhoramento em corrente livre para concentração das águas em um leito único, fixação das margens e contração e aprofundamento do leito.

Este método foi, também, empregado no Reno, no Elba, no Loire e, mais recentemente, no Mississipi. Em todos os casos, entretanto, os trabalhos de regularização não trouxeram os resultados esperados. Assim, a tendência é abandonar esse tipo de melhoramento em favor da canalização do rio, considerando que sua eficiência é limitada, seu caráter é sazonal, a duração das obras é longa e, finalmente, o custo total é, em geral, excessivo, ante os resultados obtidos.

Alguns trabalhos úteis, todavia, podem ser executados nesse sentido, em determinados rios brasileiros, como o fechamento de braços falsos, cortes para redução da sinuosidade, etc. Todas essas obras, estando sujeitas à ação destruidora das águas, terão que ser conservadas. Qualquer descuido pode pôr a perder trabalhos de vulto.

Além disso, esses trabalhos, pela suas dificuldades, pela sua natureza (obrigando a manutenção permanente) e pelo seu custo, só devem ser realizados quando o tráfego fluvial exibir números que os justifiquem. Naturalmente que motivos de outra espécie, como o interesse e a segurança nacionais, podem recomendar, em casos especiais, a sua antecipação.

Figura 40.11 – Técnicas para Regularização do Curso (Melhoramento a Corrente Livre)

d. APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DAS ÁGUAS

Em toda infra-estrutura de transporte, a **via navegável** apresenta características verdadeiramente polivalentes. Além de ser um instrumento de transporte econômico, ela é, por suas características específicas, um ganho suplementar na adoção de uma política de aproveitamento múltiplo dos cursos d'água e um fator determinante para o desenvolvimento de atividades industriais, agrícolas, turísticas e de urbanização e saneamento.

A necessidade que tem tido o homem, nos últimos decênios, de captar todas as fontes de energia hidráulica disponíveis, para atender à demanda sempre crescente de energia elétrica; a necessidade de acumular e economizar água, para fins domésticos, industriais e de irrigação, e a de diminuir as possibilidades e os efeitos de inundações, constituem o grande trunfo para melhorar as **condições de navegabilidade** das hidrovias e para a sua extensão para novas áreas. O aproveitamento múltiplo dos rios é hoje, assim, executado em larga escala e, quase sempre, a **navegação** não é esquecida ou desprezada, nos países mais adiantados.

40.2 FATORES NECESSÁRIOS PARA A SEGURANÇA DA NAVEGAÇÃO FLUVIAL

Este Manual aborda, basicamente, a **navegação fluvial** praticada em **rios de corrente livre**. No entanto, as técnicas apresentadas e os demais tópicos estudados são, também, aplicados à navegação em **rios canalizados** e em **canais** artificiais.

Os rios de corrente livre, quanto às condições de navegabilidade, podem ser genericamente classificados em:

- Rios que permitem navegação de características oceânicas; e
- rios cujas condições de navegabilidade são tais que a navegação neles conduzida tem características próprias, bastante diferentes das da navegação marítima.

Entre os primeiros, exemplos clássicos são o rio Amazonas, englobando o rio Pará, e trechos de alguns de seus grandes afluentes. O rio Amazonas desfruta de dupla característica como via de navegação. Pelas suas amplas dimensões, permitindo o acesso de navios marítimos até Iquitos, no Peru, a cerca de 2.000 milhas da foz, pode ser considerado quase como uma via marítima, constituindo as suas margens o prolongamento do litoral. Pelas suas condições de relativa tranquilidade, quando não no curso principal, pelo menos nos seus inumeráveis furos, igarapés e paranás, permitindo o acesso e a atracação praticamente em qualquer barranco, desempenha a função de via de navegação interior. Cabe-lhe bem, pois, a denominação de **Rio-Mar**.

Entre os rios cujas condições de navegabilidade exigem uma navegação com características próprias, bem distintas daquelas da navegação marítima, alinham-se trechos do próprio rio Solimões, a região dos Estreitos, diversos afluentes e subafluentes dos rios Amazonas e Solimões, os rios da Bacia do Prata (Paraguai, Paraná e Uruguai), os rios São Francisco, Jacuí, Taquari, Guaíba e vários outros rios brasileiros.

Tanto nos rios de boas condições de navegabilidade, como, particularmente, nos rios de condições de navegabilidade menos favoráveis, a navegação praticada deve ser sempre considerada como **navegação em águas restritas**, cercando-se o navegante permanentemente dos cuidados e atenções especiais inerentes a este tipo de navegação (ver o volume I deste Manual).

O nosso estudo enfocará de maneira específica os rios de condições de navegabilidade restritas, nos quais a navegação tem características próprias, eminentemente fluviais.

Os principais fatores necessários para garantir a segurança da navegação nas hidrovias interiores, especialmente naquelas de condições de navegabilidade restritas, são:

1 – Existência de documentos cartográficos (cartas náuticas ou croquis de navegação) adequados, representando a hidrovia em escala apropriada, e de publicações de segurança da navegação (Roteiro Fluvial, Lista de Faróis e de Sinais Cegos, Avisos aos Navegantes, etc.) atualizadas, cobrindo a hidrovia;

2 – existência de um sistema de Sinalização Náutica (balizamento) eficiente, que indique continuamente ao navegante as ações a empreender para manter-se navegando no canal, ou os perigos a evitar;

3 – existência de um sistema de divulgação do nível do rio em diversas estações fluviométricas ao longo da hidrovia;

4 – familiarização dos navegantes com o trajeto, ou seja, conhecimento prático das características e particularidades da hidrovia, o que os torna capazes de atender prontamente às diversas manobras necessárias à permanência da embarcação no canal de navegação;

5 – emprego de métodos e técnicas próprios da navegação fluvial;

6 – existência de normas e regulamentos especiais para o tráfego nas hidrovias, visando um transporte seguro e a salvaguarda da vida humana e do meio ambiente; e

7 – emprego de embarcações adequadas e providas de recursos específicos para a navegação fluvial.

Pode-se, então, afirmar que a segurança da navegação fluvial é função desses sete fatores, que vamos analisar separadamente.

40.3 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS FLUVIAIS

Os documentos cartográficos fluviais são essenciais à segurança da navegação fluvial e mesmo os Práticos, com larga familiarização com os trajetos e grandes conhecimentos locais, não dispõem de seus próprios croquis de navegação, normalmente rudimentares e aproximados, porém indispensáveis como fonte de consulta permanente.

Os documentos cartográficos fluviais podem ser:

- Cartas sistemáticas; e
- croquis de navegação.

– Cartas Sistemáticas Fluviais

A carta náutica é o documento cartográfico destinado a fornecer aos navegantes informações que lhes permitam conduzir com segurança as suas embarcações, possibilitando a avaliação precisa de distâncias e direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes. Compõe-se de uma parte terrestre, oriunda de levantamentos geodésicos, topográficos e aerofotogramétricos, e de uma parte aquática, proveniente de levantamentos hidrográficos. A parte aquática, a mais importante da carta náutica, pode representar uma área marítima, um rio, um lago, uma lagoa, um canal ou qualquer outra massa d'água navegável.

As cartas fluviais são oriundas de levantamentos hidrográficos sistemáticos e precisos, construídas de acordo com os mesmos princípios das cartas para navegação marítima, porém com características e peculiaridades próprias (figura 40.12).

As cartas fluviais são construídas numa escala tal que a topografia subfluvial da área por elas abrangida é representada com o grau de detalhe, precisão e clareza exigidos. Assim, a escala das cartas de uma determinada hidrovia depende das dimensões e características desta hidrovia.

Figura 40.12 – Carta Fluvial (Trecho da Carta nº 4103 B)

Em virtude disto, as cartas dos rios Amazonas e Solimões são publicadas na escala básica de 1:100.000. Já o rio Trombetas, mais estreito, tem suas cartas publicadas na escala de 1:30.000. As cartas do rio Paraguai, para possibilitar uma representação clara e precisa, são editadas na escala de 1:25.000.

Nas cartas fluviais são representadas as profundidades, as isóbatas e as demais informações de interesse para o navegante, tais como bancos, pedras, obstáculos submersos, cascos soçobrados ou qualquer outro perigo à navegação. A representação procura ressaltar o **talvegue**, ou canal mais profundo, por onde deve ser conduzida a navegação.

As cartas fluviais contêm planos inseridos em escala ampliada, representando os trechos de navegação mais difícil ou os portos mais relevantes, de modo que o usuário possa dispor, para estas áreas críticas, ou importantes para a navegação, de um documento cartográfico em escala maior, onde o relevo subfluvial e a topografia da parte emersa são apresentados com maior grau de detalhe e clareza.

As cartas fluviais apresentam, além de todo o balizamento existente, as marcas naturais e artificiais utilizadas como auxílio à navegação, realçando a representação de árvores notáveis, tipos de vegetação nas margens (especialmente as mudanças de um tipo de vegetação para outro), barrancos, elevações notáveis, construções nas margens, bocas de riachos e diversos outros detalhes de menor importância em cartas marítimas, mas que constituem referências significativas para a navegação fluvial.

As cartas fluviais contêm, ainda, a **quilometragem** (ou **milhagem**) do rio, contada geralmente a partir de sua foz para montante, visando auxiliar a localização do navegante, bem como um **ábaco para correção das sondagens** que permita, desde que se disponham das informações sobre os níveis do rio nas Estações Fluviométricas de Referência, determinar quais as menores profundidades que serão encontradas nos locais mais críticos à navegação. Para isto, basta que se entre no ábaco com as leituras do nível do rio nas Estações Fluviométricas de Referência, para uma determinada data, e a quilometragem (ou milhagem) do local de interesse, para se obter a correção, em metros, para as sondagens lidas na carta para aquele local, naquela data. Esta correção é, normalmente, positiva, pois as profundidades representadas na carta estão referidas a um **nível de redução** que corresponde à média das mínimas excepcionais observadas num longo período de tempo. Estes ábacos são muito importantes, especialmente para os armadores que operam na hidrovia, pois saberão exatamente o quanto poderão carregar seus comboios, para que ultrapassem sem problemas os trechos mais críticos à navegação.

O exemplo da figura 40.13 ilustra a utilização do Ábaco para Correção das Sondagens. Em uma determinada data, estando o nível do rio Paraguai em Ladário na cota + 3,80 m e em Forte de Coimbra na cota + 1,20 m, a correção para o Passo Caraguatá (km 1.420) será de + 3,10 m. Se a profundidade mínima (sondagem) indicada na carta náutica para o Passo Caraguatá for, por exemplo, 1,0 m, o navegante, na data em questão, poderá esperar encontrar: $1,0 + 3,1 = 4,1$ metros, como menor profundidade naquele passo.

O relevo subfluvial normalmente não apresenta a mesma estabilidade que a topografia subaquática de uma área marítima.

Num rio ocorrem, com razoável freqüência, modificações naturais que alteram as condições de navegabilidade de determinados trechos, com mudanças no canal de navegação. Devido a isso, as cartas fluviais têm que ser permanentemente atualizadas, com elementos oriundos de levantamentos hidrográficos de verificação e atualização, para que não fiquem obsoletas. Esta atualização é efetuada pela DHN por meio da edição de trechos de cartas, com correções para os locais onde houve alterações. Da mesma forma, o posicionamento dos sinais do balizamento correspondente também deve ser alterado, para que indique sempre ao navegante o melhor caminho a seguir.

A figura 40.14 mostra a Folha de Bordo da sondagem de atualização do Passo Arrecifes, situado no rio Paraguai, no trecho de soberania exclusiva da República do Paraguai. Esta planta batimétrica dará origem à edição de um trecho de carta, para correção da Carta Náutica nº 3242 B.

– Croquis de Navegação

Os **croquis de navegação** são documentos cartográficos de precisão menor que as cartas sistemáticas fluviais. São, normalmente, oriundos de reconhecimentos hidrográficos,

que é como são denominados os levantamentos expeditos, ou de observações de práticos e de navegantes fluviais.

Nos **croquis de navegação** são representados o contorno das margens, bancos e ilhas, a linha de navegação a ser seguida (canal de navegação), a posição aproximada das pedras, bancos, obstáculos submersos, cascos soçobrados e demais perigos à navegação, a quilometragem, os valores de velocidade da corrente disponíveis, a localização das marcas naturais ou artificiais que servem como referência à navegação (árvores notáveis, edificações, tipos de vegetação das margens, etc.). Podem ou não apresentar as profundidades ao longo do rio.

Figura 40.13 – Ábaco para Correção das Sondagens

EXEMPLO: ESTANDO O NÍVEL DO RIO EM LADÁRIO NA COTA + 3,80 M
E EM FORTE COIMBRA NA COTA + 1,20 M A CORREÇÃO PARA O PASSO
CARAGUATÁ (KM 1.420) SERÁ + 3,10 M.

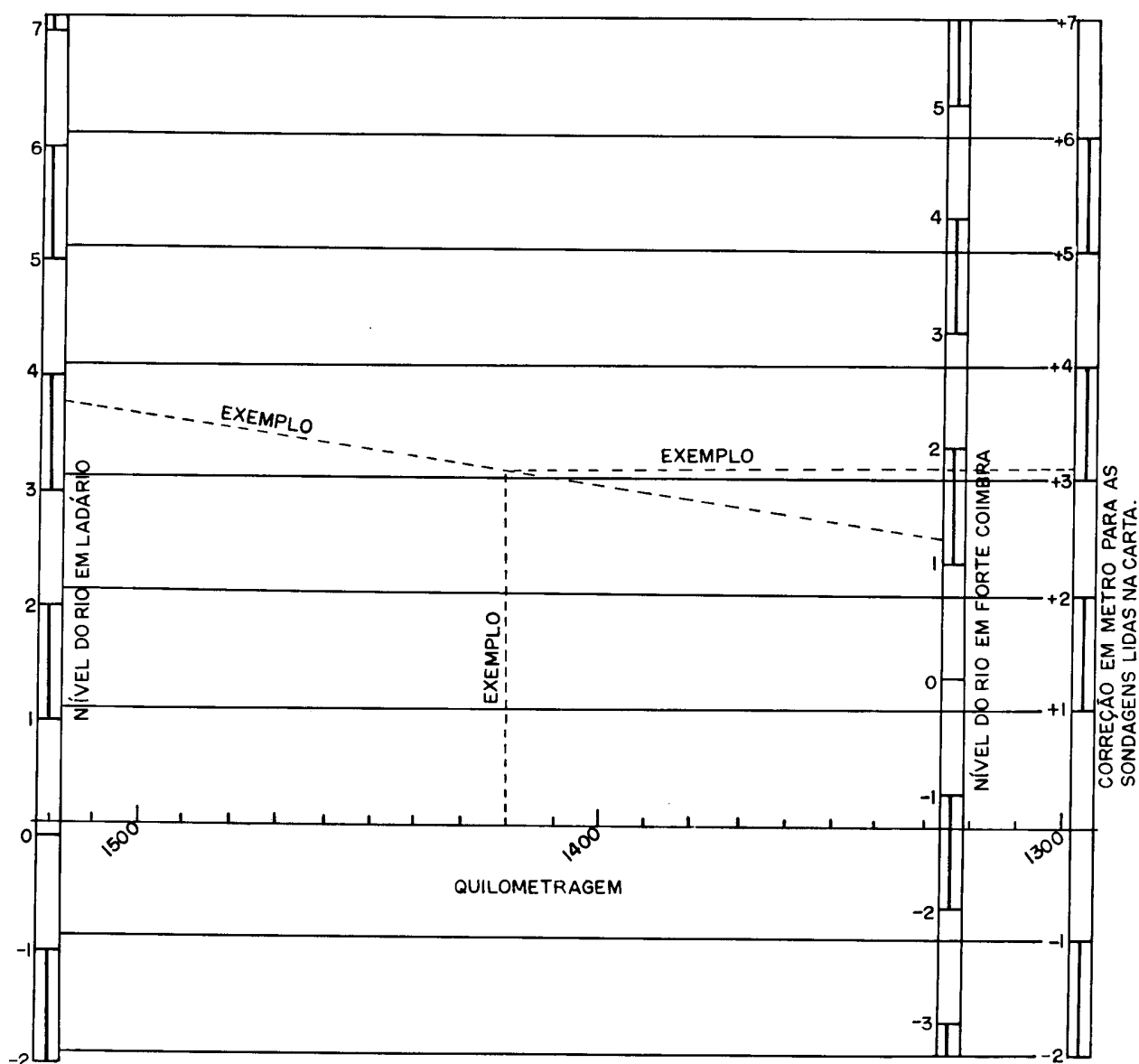
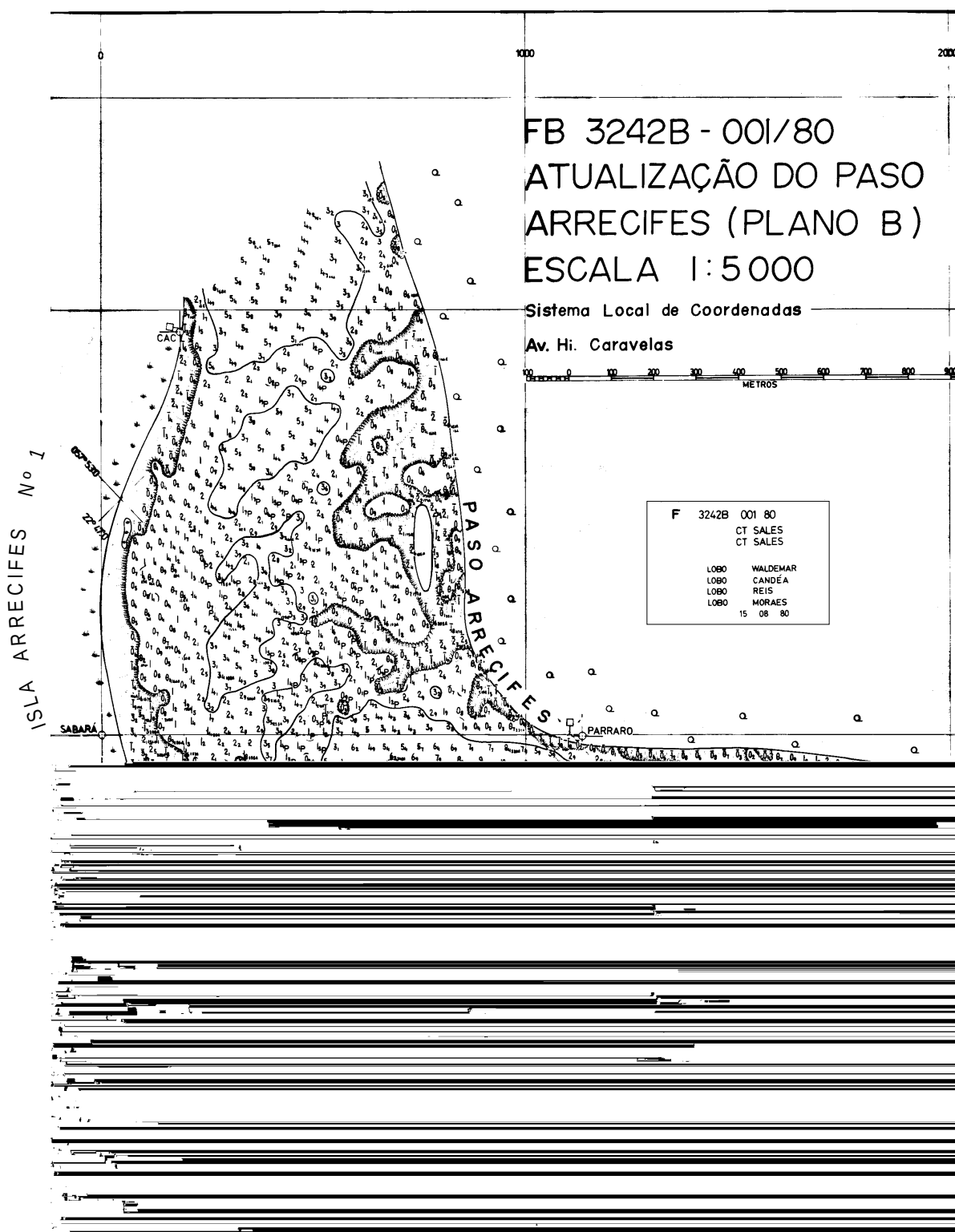


Figura 40.14 – Sondagem de Verificação e Atualização



Semelhantes aos croquis de navegação existem as **cartas de praticagem**, que, além de todas as informações já citadas, apresentam as profundidades na área do canal de navegação, estando normalmente ausentes as informações batimétricas sobre o restante do leito do rio. As **cartas de praticagem** ainda existentes, entretanto, estão sendo descontinuadas pela DHN.

A decisão sobre o tipo de documento cartográfico (carta sistemática ou croqui de navegação) a ser editado para uma determinada hidrovia depende de diversos fatores, entre os quais podemos citar:

- As dimensões e características da hidrovia;
- a maior ou menor estabilidade do seu leito e talvegue;
- a importância econômica e a intensidade da navegação na hidrovia; e
- o interesse estratégico da hidrovia.

No rio Paraguai, por exemplo, o trecho Corumbá–Assunção, num total de 1.144 quilômetros, dos quais 210 km de soberania exclusiva do Brasil, 48 km de soberania compartilhada entre o Brasil e a Bolívia, 332 km de soberania compartilhada entre o Brasil e o Paraguai, além de 554 km de soberania exclusiva da República do Paraguai, está coberto por cartas náuticas sistemáticas, na escala de 1:25.000, contendo planos inseridos em escala ampliada (1:10.000 ou 1:5.000) para os “passos” críticos à navegação e os portos mais importantes. Tais cartas são oriundas de levantamentos hidrográficos realizados com elevado grau de precisão e são mantidas atualizadas através de sondagens de verificação periódicas. Já o trecho Cáceres–Corumbá, de condições mais restritas e de menor importância econômica e estratégica, é coberto por croquis de navegação, na escala de 1:10.000, resultantes de reconhecimento hidrográfico executado na área.

As cartas náuticas ou croquis de navegação devem ser complementados por **publicações de segurança da navegação** (Roteiro Fluvial, Lista de Faróis e de Sinais Cegos, folhetos de Avisos aos Navegantes, etc.) abrangendo a hidrovia. Entre estas, assume relevância especial o **Roteiro Fluvial**, que descreve detalhadamente as condições de navegabilidade da hidrovia, além de conter informações sobre os sinais do balizamento e as marcas naturais e artificiais que devem ser tomadas como referência para a navegação, a descrição dos perigos à navegação, as menores profundidades dos locais críticos, informações sobre os portos e atracadouros existentes, quilometragens e distâncias entre as principais localidades e acidentes ribeirinhos, e diversos outros dados de interesse para os navegantes.

Os Avisos aos Navegantes irradiados, especialmente pelas estações de radiodifusão comercial existentes na região da hidrovia, e os folhetos periódicos publicados, também constituem importantes fatores para a segurança da navegação fluvial.

40.4 BALIZAMENTO FLUVIAL

As ações da navegação fluvial, ou seja, as manobras que se tem que empreender para manter-se navegando corretamente dentro do canal, especialmente numa via fluvial de condições de navegabilidade restritas, ocorrem numa seqüência tal que se torna imprescindível que os documentos cartográficos (cartas fluviais ou croquis de navegação) sejam acompanhados de balizamento adequado, para garantir uma navegação segura. Um sistema de **balizamento fluvial** deve ser baseado nos seguintes princípios:

- O balizamento deve indicar continuamente ao navegante a ação a empreender para manter-se navegando corretamente no canal;
- devem ser utilizados, de preferência, sinais fixos, devido às dificuldades e elevados custos de manutenção de balizamento fluvial flutuante (bóias);

- devem ser utilizados, de preferência, sinais cegos, providos de símbolos pintados com material refletor, semelhante ao utilizado em sinalização rodoviária, para permitir também a identificação noturna, por meio do uso de holofote;
- quando a largura do rio ou a extensão da travessia impedirem a identificação noturna do sinal cego com holofote, devem ser utilizados sinais luminosos;
- os sinais cegos devem ser constituídos de balizas cujas placas possuam símbolos que indiquem a posição do canal de navegação em relação às margens ou os perigos a evitar, além de transmitirem ao navegante outras informações sobre a hidrovia; e
- a sinalização luminosa deve ser constituída de faroletes, providos de aparelhos de luz elétricos, alimentados por baterias, de acordo com as Normas da Autoridade Marítima para a Sinalização Náutica – NORMAM 17.

No Brasil, são estabelecidas as seguintes regras especiais para o balizamento fluvial e lacustre:

- No balizamento das hidrovias interiores, sempre que as características se assemelharem às do ambiente marítimo, seja pela retitude do curso ou pela distância entre as margens, devem ser utilizados os sinais previstos para o balizamento marítimo, considerando-se como “direção convencional do balizamento” o sentido de **jusante para montante** (isto é, subindo o rio);
- quando as características da hidrovia impedirem a utilização dos sinais previstos para balizamento marítimo (pelo estreitamento do curso, pela sinuosidade ou por qualquer outra razão), devem ser usados sinais complementares, destinados a indicar aos navegantes os perigos à navegação e as ações a empreender para manter-se no canal, sendo também usados para disciplinar o tráfego das embarcações; e
- na sinalização fluvial que se segue, entende-se por **margem esquerda** a margem situada do lado esquerdo de quem desce o rio, navegando de montante para jusante. A **margem direita**, portanto, é a margem situada do lado direito de quem desce o rio.

Os sinais complementares para o balizamento fluvial ou lacustre são sinais fixos instalados nas margens, constituídos por balizas com painel de forma quadrangular e de cor laranja ou amarela, exibindo um ou mais símbolos de cor branca ou preta, revestidos com material refletor, como descritos abaixo e mostrados nos quadros das figuras 40.14a e 40.14b. Um sinal complementar instalado em uma margem deve ser obedecido no trecho compreendido entre ele e o próximo sinal complementar de margem.

(a) **Sinal de recomendação para navegar junto a esta margem** é aquele que exhibe, em um painel quadrangular laranja ou amarelo, duas faixas laterais brancas ou pretas com uma seta na mesma cor, junto a uma das faixas laterais, conforme o caso (ver a figura 40.14a – duas ilustrações superiores).

(b) **Sinal de recomendação para mudar de margem** é aquele que exhibe, em um painel quadrangular laranja ou amarelo, duas faixas laterais brancas ou pretas com uma seta curva de mesma cor, indicando a margem para a qual se deve seguir, conforme o caso (ver a figura 40.14a – ilustrações do meio).

(c) **Sinal de recomendação para navegar no meio do rio** é aquele que exhibe, em um painel quadrangular laranja ou amarelo, duas faixas laterais brancas ou pretas, com uma seta da mesma cor a meio entre elas (ver a figura 40.14a – ilustração inferior).

(d) **Sinal indicador de tráfego transversal apreciável entre as margens** é aquele que exibe, em um painel quadrangular laranja ou amarelo, uma cruz branca ou preta com braço horizontal visivelmente mais fino (ver a figura 40.14b – ilustração superior).

(e) **Sinais de alinhamento** são aqueles que, instalados em pares, em uma mesma margem, exibem painel quadrangular laranja com uma faixa branca ou preta central, para recomendar um rumo a ser seguido pelo navegante (ver a figura 40.14b – segunda ilustração).

(f) **Sinal de quilometragem percorrida** é aquele que exibe, em um painel retangular laranja, um número correspondente, preto, antecedido pelas letras KM (ver a figura 40.14b – terceira ilustração).

(g) **Sinal de reduzir velocidade** é aquele que exibe, em um painel quadrangular laranja, a letra R, preta (ver a figura 40.14b – quarta ilustração).

(h) **Sinal de fundeio proibido** é aquele que exibe, em um painel quadrangular laranja, uma âncora preta sob uma diagonal preta, para indicar a proibição de fundeio na área assinalada ou no alinhamento de dois sinais iguais (ver a figura 40.14b – penúltima ilustração).

(i) **Sinal de obstrução aérea** é aquele que, em um painel quadrangular laranja, exibe, em sua metade superior, um triângulo preto com um vértice para baixo e, na sua metade inferior, a máxima altura permitida, em metros, para passagem (ver a figura 40.14b – ilustração inferior).

Figura 40.14a – Painéis para Utilização em Balizas de Sinalização Complementar Fluvial



NAVEGAR JUNTO A ESTA MARGEM A SEU BORESTE



NAVEGAR JUNTO A ESTA MARGEM A SEU BOMBORDO



MUDE PARA A MARGEM A SEU BORESTE

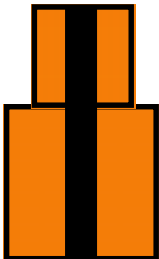


MUDE PARA A MARGEM A SEU BOMBORDO



NAVEGAR PELO MEIO DO RIO

Figura 40.14b – Painéis para Utilização em Balizas de Sinalização Complementar Fluvial

	TRÁFEGO ENTRE AS MARGENS
	ALINHAMENTO. RUMO A SER SEGUIDO
	DISTÂNCIA PERCORRIDA DE JUSANTE PARA MONTANTE
	REDUZIR VELOCIDADE. EVITE MAROLAS NAS MARGENS
	FUNDEIO PROIBIDO NA ÁREA OU NO ALINHAMENTO DOS PAINÉIS
	OBSTRUÇÃO AÉREA. MÁXIMA ALTURA PERMITIDA

O balizamento lacustre obedecerá à mesma “**direção convencional de balizamento**”, isto é, o sentido de **jusante para montante** (subindo o rio). Para o caso particular de lagos não associados a rios navegáveis, a “**direção convencional de balizamento**” será relacionada ao sentido Norte–Sul verdadeiro.

As regras estabelecidas acima e os sinais complementares descritos não se aplicam ao balizamento especial das hidrovias do Cone Sul, aprovado pelo “Comitê Intergovernamental da Hidrovia Paraguai–Paraná”, cujas regras são as seguintes.

(a) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de mudança de margem, quando situados na margem esquerda, devem exibir o símbolo “X”, confeccionado com material refletor de cor encarnada, sobre um painel losangular pintado de branco.

(b) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de mudança de margem, quando situados na margem direita, devem exibir o símbolo “X”, confeccionado com material refletor de cor verde, sobre um painel losangular pintado de branco.

(c) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de canal junto à margem, quando situados na margem esquerda, devem exibir o símbolo “□”, confeccionado com material refletor de cor encarnada, sobre um painel triangular pintado de branco.

(d) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de canal junto à margem, quando situados na margem direita, devem exibir o símbolo “□”, confeccionado com material refletor de cor verde, sobre um painel quadrangular pintado de branco.

(e) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de canal a meio do rio, quando situados na margem esquerda, devem exibir o símbolo “H”, confeccionado com material refletor de cor encarnada, sobre um painel triangular pintado de branco.

(f) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de canal a meio do rio, quando situados na margem direita, devem exibir o símbolo “H”, confeccionado com material refletor de cor verde, sobre um painel quadrangular pintado de branco.

(g) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de bifurcação de canal, devem exibir o símbolo “Y”, confeccionado com material refletor de cor amarela, sobre um painel quadrangular ou triangular pintado de preto, de acordo com a sua posição na margem direita ou na esquerda, respectivamente. Havendo canal principal, o símbolo deverá ter, em sua parte superior, um segmento mais largo que o outro, indicando a direção desse canal.

(h) Os sinais visuais cegos fixos, indicadores de perigo isolado, devem exibir o símbolo “+”, confeccionado com material refletor de cor branca, inscrito em dois painéis circulares pintados de preto, um acima do outro.

(i) Os sinais visuais luminosos fixos, quando situados na margem esquerda, devem possuir estrutura pintada na cor branca com duas faixas encarnadas e devem exibir luz de lampejos encarnados.

(j) Os sinais visuais luminosos fixos, quando situados na margem direita, devem possuir estrutura pintada na cor branca com duas faixas verdes e devem exibir luz de lampejos verdes.

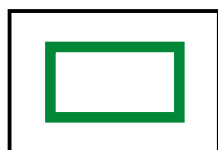
Os sinais do balizamento especial para a Hidrovia Paraguai–Paraná são mostrados nas figuras 40.15a e 40.15b.

Figura 40.15a – Regulamento Único de Balizamento (Hidrovia Paraguai–Paraná)

SINAIS DE MARGEM ESQUERDA



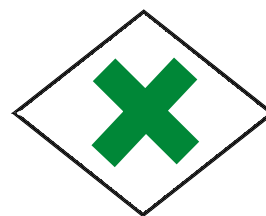
BIFURCAÇÃO DE CANAL
PRINCIPAL: DIREÇÃO LARGA
SECUNDÁRIO: DIREÇÃO ESTREITA

Figura 40.15b – Regulamento Único de Balizamento (Hidrovia Paraguai–Paraná)**SINAIS DE MARGEM DIREITA**CANAL JUNTO À
MARGEMBIFURCAÇÃO DE CANAL
PRINCIPAL: DIREÇÃO LARGA
SECUNDÁRIO: DIREÇÃO ESTREITA

CANAL A MEIO DO RIO



PERIGO



MUDANÇA DE MARGEM

As balizas cegas ou faroletes utilizados na sinalização náutica das hidrovias possuem placas de quilometragem, que constituem um importante auxílio ao posicionamento e à navegação. Os números indicativos dos quilômetros são pintados com material refletor, para permitir a identificação noturna, através do uso de holofote.

Em certos trechos dos rios, em virtude da mobilidade do leito, ocorrem alterações relativamente frequentes nas condições de navegação, principalmente após as grandes cheias. É necessário, portanto, conforme já afirmado, realizar sondagens de verificação periódicas, para manter atualizadas as Cartas Náuticas e proceder às mudanças no posicionamento dos sinais do balizamento, para que indiquem sempre ao navegante o melhor caminho a seguir. Assim sendo, para que possam ser mudados de posição com facilidade, os sinais do balizamento fluvial, em geral, não têm base de concreto, sendo apenas enterrados e estaiados, como mostra a figura 40.16.

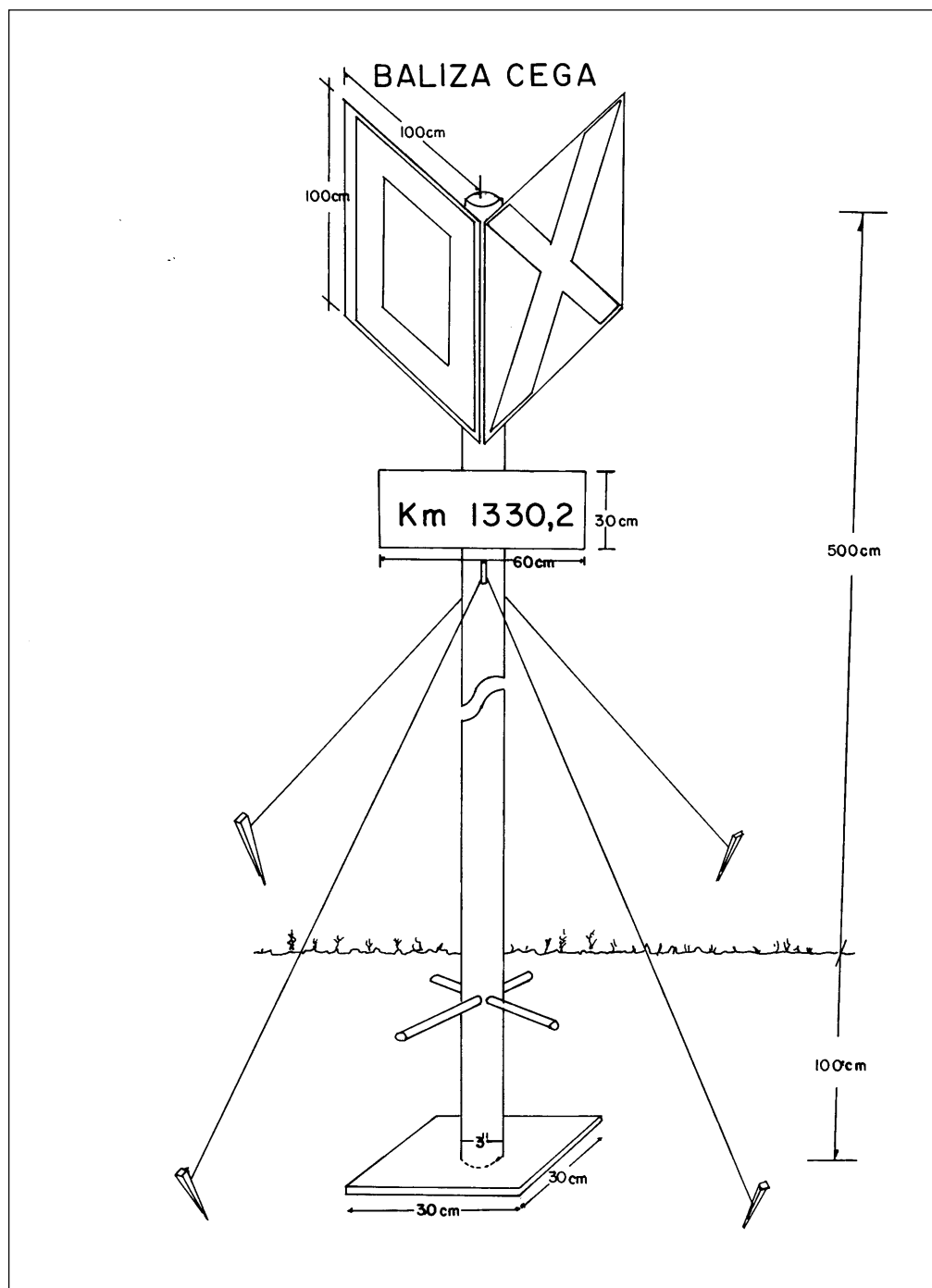
É interessante, ainda, notar que o balizamento é projetado para o navegante que desce o rio, isto é, as posições dos sinais visam atender, primordialmente, à navegação de montante para jusante, pois a navegação subindo o rio, contra a corrente, é normalmente mais fácil de ser conduzida.

São as seguintes as regras para sinalização de pontes fixas sobre vias navegáveis:

– O **vão principal**, sob o qual deve ser conduzida a navegação, deve exibir:

I – No centro, sob a ponte, uma luz branca de ritmo isofásico, característico de sinais de águas seguras, e nos pilares laterais de sustentação luzes rítmicas, conforme as convenções para o balizamento marítimo (isto é, o pilar a ser deixado por **boreste**, de acordo com a “direção convencional do balizamento”, deve exibir **luz encarnada**, com característica de sinal lateral boreste; o pilar a ser deixado por **bombordo** deve mostrar **luz verde**, com característica de sinal lateral bombordo);

Figura 40.16 – Sinal do Balizamento Fluvial (Balizamento Especial da Hidrovia Paraguai-Paraná)



II – o pilar a ser deixado por **boreste**, pelo navegante que entra no porto ou sobe o rio, deve exibir como **marca diurna** um painel retangular branco contendo um **triângulo equilátero encarnado**, com vértice para cima e com dimensões adequadas ao alcance visual desejado; e

III – o pilar a ser deixado por **bombordo**, pelo navegante que entra no porto ou sobe o rio, deve exibir como **marca diurna** um painel retangular branco contendo um **retângulo verde**, com o maior lado na vertical e com dimensões adequadas ao alcance visual desejado.

– Quando, entre os limites do **vão principal** (ponto de melhor passagem), houver um ou mais pilares dividindo o canal, estes deverão ser sinalizados com luzes e painéis retangulares indicativos de sinal lateral de canal preferencial boreste ou bombordo, conforme o caso.

– Os demais pilares de sustentação sobre águas navegáveis devem ser sinalizados por luz fixa branca, ou iluminados por refletores que não ofusquem o navegante.

– Os vãos não navegáveis sob uma ponte não necessitam exibir qualquer sinalização diurna ou noturna.

– O ponto de melhor passagem sob uma ponte poderá ser sinalizado por um **respondedor radar ativo (RACON)**.

As pontes fixas sobre a hidrovia Paraguai–Paraná, que tenham pilares de sustentação sobre a água, devem receber sinalização e iluminação nos diversos vãos.

O(s) vão(s) principal (ais) deve(m) exibir:

I – No centro, sob a ponte, uma luz rápida branca e nos pilares laterais luzes fixas ou rítmicas, de acordo com as convenções para o balizamento marítimo;

II – no pilar que deva ser deixado por bombordo, pelo navegante que sobe o rio, um painel retangular branco, contendo um retângulo verde, com a maior dimensão na vertical, sendo adotadas para o retângulo interior a dimensão mínima de 2,4 (dois vírgula quatro) metros na direção horizontal e 2,5 (dois vírgula cinco) metros na direção vertical; e

III – no pilar que deva ser deixado por boreste, pelo navegante que sobe o rio, um painel retangular branco, contendo um triângulo equilátero encarnado, adotando-se a dimensão mínima de 1,5 (um vírgula cinco) metro para o lado do triângulo.

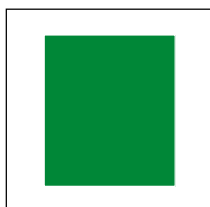
O(s) vão(s) secundário(s), se tiver(em) pilar(es) de sustentação sobre a água, deve(m) ter esse(s) pilar(es) sinalizado(s) por luz fixa branca ou iluminado(s) por refletores, com luz branca não ofuscante.

Os alcances luminosos noturnos de todas as luzes de sinalização das pontes deverão ser iguais ou maiores que 5 milhas náuticas.

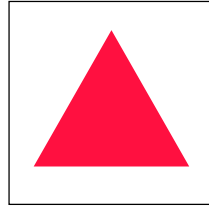
A figura 40.17 ilustra os sinais diurnos utilizados no balizamento de **pontes fixas** sobre vias navegáveis.

Figura 40.17 – Sinalização de Ponte sobre Hidrovia

PILAR DE PONTE A BOMBORDO DE QUEM SOBE OU A BORESTE
DE QUEM DESCE O RIO



PILAR DE PONTE A BORESTE DE QUEM SOBE OU A BOMBORDO
DE QUEM DESCE O RIO



O balizamento fluvial exige, normalmente, um grande número de sinais, pois o canal navegável, em geral sinuoso e estreito, vagueia encoberto sob a larga superfície líquida do leito. Como exemplo, o balizamento do rio Paraguai implantado no trecho Corumbá–Foz do rio Apa, num total de 590 km (sendo 210 km de soberania exclusiva do Brasil, 48 km de soberania compartilhada com a Bolívia e 332 km de soberania compartilhada com o Paraguai) exigiu o estabelecimento de 229 balizas cegas e 40 faroletes, com a seguinte distribuição:

Além disso, a grande variação do nível das águas na maioria dos nossos rios, a mobilidade do leito e a possibilidade de depredação dos sinais impõem um serviço de vigilância e manutenção permanentes do balizamento fluvial.

40.6 FAMILIARIZAÇÃO COM O TRAJETO (CONHECIMENTO PRÁTICO DA HIDROVIA)

Além dos recursos anteriormente citados, a dinâmica da navegação fluvial exige familiarização com o trajeto, isto é, um conhecimento prático local semelhante ao requerido pelas navegações de entrada e saída de portos, no interior destes ou em águas muito restritas, no caso da navegação marítima. Este conhecimento local é que tornará os navegantes capazes de atender prontamente às diversas manobras necessárias à permanência da embarcação no canal de navegação.

Por isso, mesmo com documentos cartográficos adequados, sistemas de balizamento e divulgação do nível do rio eficientes, é imprescindível para uma navegação fluvial segura a presença do prático de navegação, isto é, do elemento familiarizado com o trajeto, com as características e peculiaridades da hidrovia. Este elemento funciona, para a navegação fluvial, assim como o prático de entrada e saída de porto e de áreas de navegação restrita funciona para a navegação marítima. Mesmo em rios perfeitamente cartografados e balizados, com sistemas de divulgação de nível ótimos, como o Mississipi ou o Reno, a presença do prático é sempre encontrada.

Entretanto, quando se cita a necessidade dos navegantes terem conhecimento das características e particularidades de determinada hidrovia, não deve vir necessariamente à mente o **prático** ao velho estilo, isto é, o elemento criado na região e com um conhecimento totalmente empírico da navegação local. Os pilotos e comandantes de embarcações fluviais de uma determinada hidrovia devem ser formados aproveitando-se, além do próprio aprendizado prático na área (através de freqüentes viagens na hidrovia, acompanhando as manobras executadas por elemento já conhecedor da mesma), os recursos anteriormente citados, tais como documentos cartográficos da hidrovia, sistema de balizamento nela adotado, informações do Roteiro, etc.

Os práticos sempre souberam, por exemplo, que as calhas profundas podem ser localizadas pela presença de folhagens flutuando, levadas pela correnteza, ou seja, quem navega pelo canal mais fundo segue sobre o “lixo”. Sabem, também, que um arbusto flutuando pode, muitas vezes, ser um galho de uma vastíssima árvore semi-submersa que, como um aríete à deriva, está pronta a colidir contra o casco, abrindo-lhe água, como ocorre com freqüência nos rios da Amazônia.

É importante, ainda, conhecer os regimes de águas normais da hidrovia, isto é, os períodos de cheia e de vazante do rio, bem como as cotas normalmente alcançadas em diversos pontos da via navegável. Também devem ser conhecidos os valores da velocidade da corrente nos vários níveis atingidos pelo rio e a ocorrência de remansos, rebojos ou redemoinhos perigosos à navegação.

Na Bacia Amazônica, por exemplo, nos meses de setembro e outubro começam as chuvas nas vertentes orientais dos Andes, regiões do Peru e Bolívia, e no Planalto Central Brasileiro, áreas que dão origem aos afluentes da margem direita do rio Solimões–Amazonas. Nos meses de fevereiro e março, tais rios atingem a enchente máxima. Em fins de abril e princípio de maio, baixam as águas nos altos rios da Amazônia. Nesse período, coincidindo com o início da vazante dos afluentes da margem direita, ocorrem as chuvas no Planalto das Guianas e contrafortes dos Andes, desaguardando seus excessos de

abril a junho na calha principal. É nessa época (junho e julho) que o Solimões–Amazonas atinge o seu máximo, verificando-se o mínimo no período de outubro e novembro, quando cessam os excessos de deságue da margem esquerda. Em resumo, o regime do rio Amazonas pode ser descrito da seguinte maneira:

- Período de enchente: novembro a junho; nível máximo: junho e julho; e
- período de vazante: julho a outubro; nível mínimo: outubro e novembro.

Os práticos sabem, também, que, principalmente nos altos rios amazônicos, **balseiros** (aglomerações de terra, capim, paus, folhas, galhos, troncos e árvores, que descem no fio da corrente) são sinais de **repiquete**. Chama-se **repiquete** à rápida subida das águas do rio, após o início da vazante e durante esta, causada por degelos retardatários nas nascentes das bacias próximas dos Andes, ou por aguaceiros intensos, que são comuns na região. A massa de água, lançada abruptamente nas nascentes e nos afluentes, eleva rapidamente o nível das águas, às vezes em horas, mas, também rapidamente, volta ao nível anterior. Há **repiquetes** que duram apenas algumas horas; outros, alguns dias. O ciclo de enchentes e vazantes, comandado pela mecânica das águas, repete-se várias vezes durante o **inverno** (período de janeiro a julho, época de copiosas chuvas no baixo Amazonas), até que, por fim, o rio estagna numa horizontalidade mínima, ao entrar a época de estiagem, ou **verão** (período de agosto a dezembro).

Na bacia do Alto Paraguai, o regime de precipitação é tipicamente tropical (região de clima tropical úmido), apresentando dois períodos distintos: um chuvoso, que se inicia em setembro/outubro e estende-se até março, quando ocorrem cerca de 80% do total anual de chuvas; e outro seco, no período de abril a setembro. Normalmente, a cheia que ocorre em Cáceres e Cuiabá em fevereiro ou março, no final do período chuvoso, ocorrerá em Corumbá/Ladário em maio/junho e em Porto Murtinho em junho/julho; o escoamento é lento devido à pequena declividade do rio Paraguai (cerca de 2 cm/km) e à baixa capacidade de escoamento do leito menor do rio Paraguai e seus afluentes. Em Corumbá/Ladário, quando a enchente é muito alta, a cota máxima ocorre em abril/maio; quando a enchente é alta, a cota máxima verifica-se em maio/junho e, quando é uma cheia normal, o pico ocorre em junho/julho. Em Porto Murtinho, em termos médios, o máximo da cheia ocorre nos meses de junho/julho, completamente defasado do processo de precipitação na bacia hidrográfica a montante.

Em Corumbá/Ladário, o rio Paraguai começa a baixar geralmente em agosto, atinge a cota mínima no período de outubro a dezembro e começa a subir na segunda quinzena de dezembro. Quando a cheia é extremamente baixa, a cota mínima é atingida em setembro/outubro.

Sabem, também, os práticos que rios de água barrenta significam:

- Instabilidade dos leitos, erosão fluvial marginal;
- diferenças notáveis no aspecto do contorno das margens mais baixas (cheia x vazante); e
- formação de ilhas e várzeas, pela sedimentação e calmatagem.

Por outro lado, os rios de água preta indicam:

- Maior estabilidade do leito;
- pouca incidência de erosão fluvial;

- fundos duros e pedregosos (presença de pedras e “lajal”);
- encostas íngremes e falésias marginais;
- poucas ilhas sedimentares; e
- ausência de várzeas, formando nas cheias apenas **igapós** (matas alagadas).

Nas proximidades da foz do rio Amazonas, é necessário saber que, principalmente em embarcações menores, devem-se evitar as águas mais rasas nas épocas de **pororoca**.

A **pororoca** é um fenômeno resultante do retardamento do fluxo da maré de enchente, cujas águas vão ficando represadas pelas águas do rio correndo em sentido contrário, formando um desnível crescente que, em determinado instante, rompe o equilíbrio, precipitando-se rio acima.

Consiste em uma onda de arrebentação, com alguns metros de altura, grande efeito destruidor e forte estrondo, que, na maré de enchente, irrompe de súbito em sentido contrário ao do fluxo das águas do rio e, seguida de ondas menores, chamadas **banzeiros**, sobe rio acima, amortecendo-se à medida que avança.

Ocorre geralmente nas águas pouco profundas e estreitas da foz de alguns rios, durante as marés de sizígia e quando a enchente está a meio.

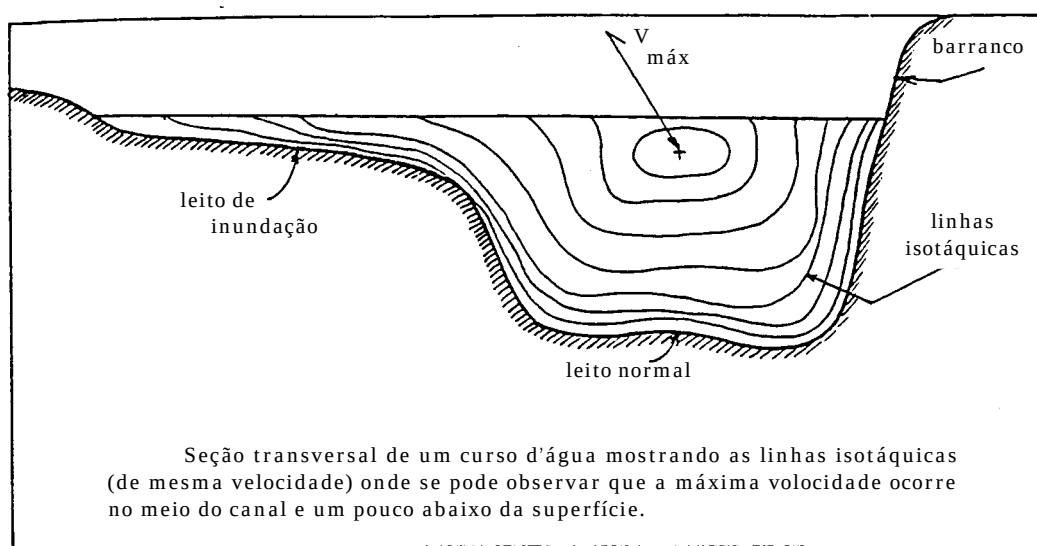
Na foz do rio Amazonas, a **pororoca** se faz sentir notadamente nos rios e canais situados no trecho entre as ilhas de Maracá e Janaucu; sua vaga tem altura de 1,5 m a 2,5 m; sua velocidade atinge 10 a 15 nós; é mais perigosa de janeiro a junho, próximo da sizígia e com vento NE; pode ser pressentida, pelo seu forte ruído, a distâncias de 3 a 6 milhas; e não ocorre em áreas com mais de 7 m de profundidade, não oferecendo perigo aos navios navegando em canais profundos.

40.7 EMPREGO DE MÉTODOS E TÉCNICAS PRÓPRIOS DA NAVEGAÇÃO FLUVIAL

Além do conhecimento prático das peculiaridades da hidrovia, a navegação fluvial também exige o emprego de métodos, técnicas, manobras e procedimentos próprios, em geral diferentes dos normalmente utilizados na navegação marítima.

O estudo do perfil de velocidades no escoamento de líquidos em canais abertos indica que, no centro do canal, as velocidades das águas são maiores, ao passo que, junto às margens, elas são retardadas pelas irregularidades do contorno marginal (figura 40.18).

Tal fato é, muitas vezes, aproveitado pelas embarcações que trafegam em rios com maior correnteza, de forma que quem navega contra a corrente segue mais próximo da margem, enquanto quem desce o rio segue pela calha mais profunda. Em consequência desse procedimento, a embarcação que desce o rio tem maiores dificuldades na navegação do que a que sobe. Seguindo a favor da corrente, a embarcação tem maior velocidade absoluta (em relação ao fundo), muito maior energia cinética (proporcional ao quadrado da velocidade) e piores qualidades de manobra de leme, fatores esses que, inclusive, transformam um eventual encalhe numa situação difícil, ainda mais agravada pela ação da correnteza que empurra a embarcação sobre o banco ou contra a margem. Quando sobe o

Figura 40.18 – Perfil de Velocidades de Escoamento em Canais Abertos

rio, ao contrário, a embarcação tem menor velocidade absoluta, muito menor energia cinética e melhores qualidades de governo, tornando menos graves as conseqüências de um encalhe, podendo se safar até mesmo com a ajuda da própria corrente.

Por tudo isso, uma lei natural, há muito conhecida dos navegantes fluviais, chamada **“LEI DO RIO”**, prescreve:

“Quem navega a favor da correnteza segue a meio caudal, enquanto quem sobe o rio segue próximo à margem; quem desce o rio tem a preferência”.

Este é um procedimento próprio da navegação fluvial, mas que o navegante deve usar com cautela, lembrando sempre que, em caso de risco de abalroamento, a lei que vigora, no entanto, é a regra 9 do RIPEAM, que estabelece a obrigatoriedade de as embarcações se manterem tão próximas quanto possível e seguro da margem do canal que estiver a seu boreste.

Normalmente, os rios apresentam **estirões**, em geral francamente navegáveis, intercalados por trechos onde a navegação é mais difícil, em virtude da presença de perigos, baixios, curvas e travessias.

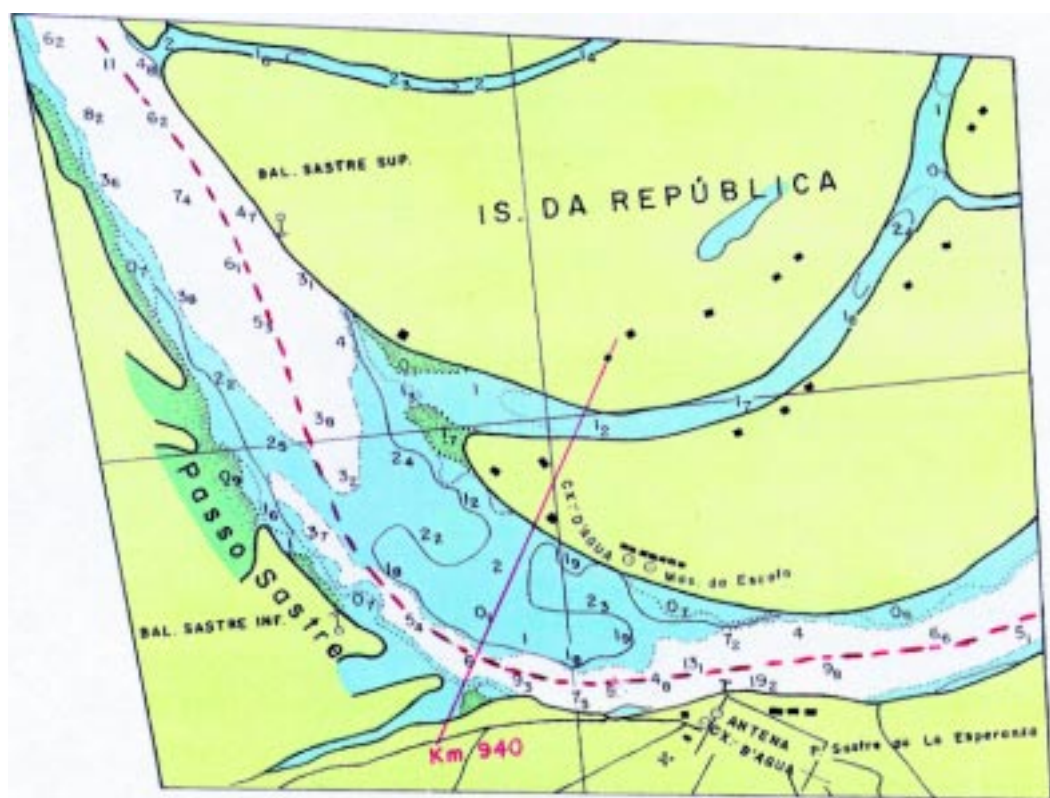
As travessias são, quase sempre, pontos que apresentam dificuldades à navegação, sendo, geralmente, denominadas de **passos**, nomenclatura que, por analogia, se estende a todos os trechos críticos à navegação. Assim sendo, **passo** pode ser definido como:

PASSO

PONTO ESTREITO DE UM CANAL; NOMENCLATURA PARTICULARMENTE UTILIZADA PARA DESIGNAR OS TRECHOS CRÍTICOS À NAVEGAÇÃO EM UM DETERMINADO RIO, ISTO É, OS LOCAIS ONDE HÁ ESTREITAMENTO DE CANAL, MUDANÇA DE MARGEM, DIMINUIÇÃO DAS PROFUNDIDADES, OCORRÊNCIA DE PEDRAS, BANCOS OU OUTROS OBSTÁCULOS À NAVEGAÇÃO, OU, AINDA, FORTE CORRENTADA, REDEMOINHO, REBOJO, ETC.

A figura 40.19 mostra o Passo Sastre, no km 940 do rio Paraguai, onde há mudança de margem, estreitamento do canal e diminuição das profundidades, configurando uma passagem difícil. As balizas Sastre Superior e Sastre Inferior indicam a travessia a ser feita. Para facilitar a compreensão, o caminho a ser seguido no trecho está representado por uma linha tracejada na figura.

Figura 40.19 – Travessia de Passo



Reprodução de trecho da carta nº 3239 B 1a. EDIÇÃO

Em muitos rios, navega-se de “ponta a ponta”, isto é, descendo o rio navega-se seguindo uma margem até formar ponta, quando faz-se a travessia para a outra margem, para evitar o banco que se forma a jusante da ponta; segue-se, então, a outra margem até que se forme nova ponta, quando faz-se nova travessia. A figura 40.20 mostra uma “navegação ponta a ponta”, com o farolete Abrigo e as balizas São José Superior e São José Inferior indicando o caminho a seguir (representado por uma linha tracejada).

Os passos de pedra constituem exceções à regra de “navegação ponta a ponta”, tendo cada um sua maneira própria de ser ultrapassado. Também as curvas exigem manobras especiais para serem negociadas com segurança.

Uma **volta redonda** é aquela que mantém a mesma curvatura em toda sua extensão. Na volta redonda o navio deve se manter sempre próximo da margem de fora da curva (envolvente), não atravessando o rio (figuras 40.21 e 40.22).

Figura 40.20 – Navegação de Ponta a Ponta (Trecho da Carta nº 3232B)

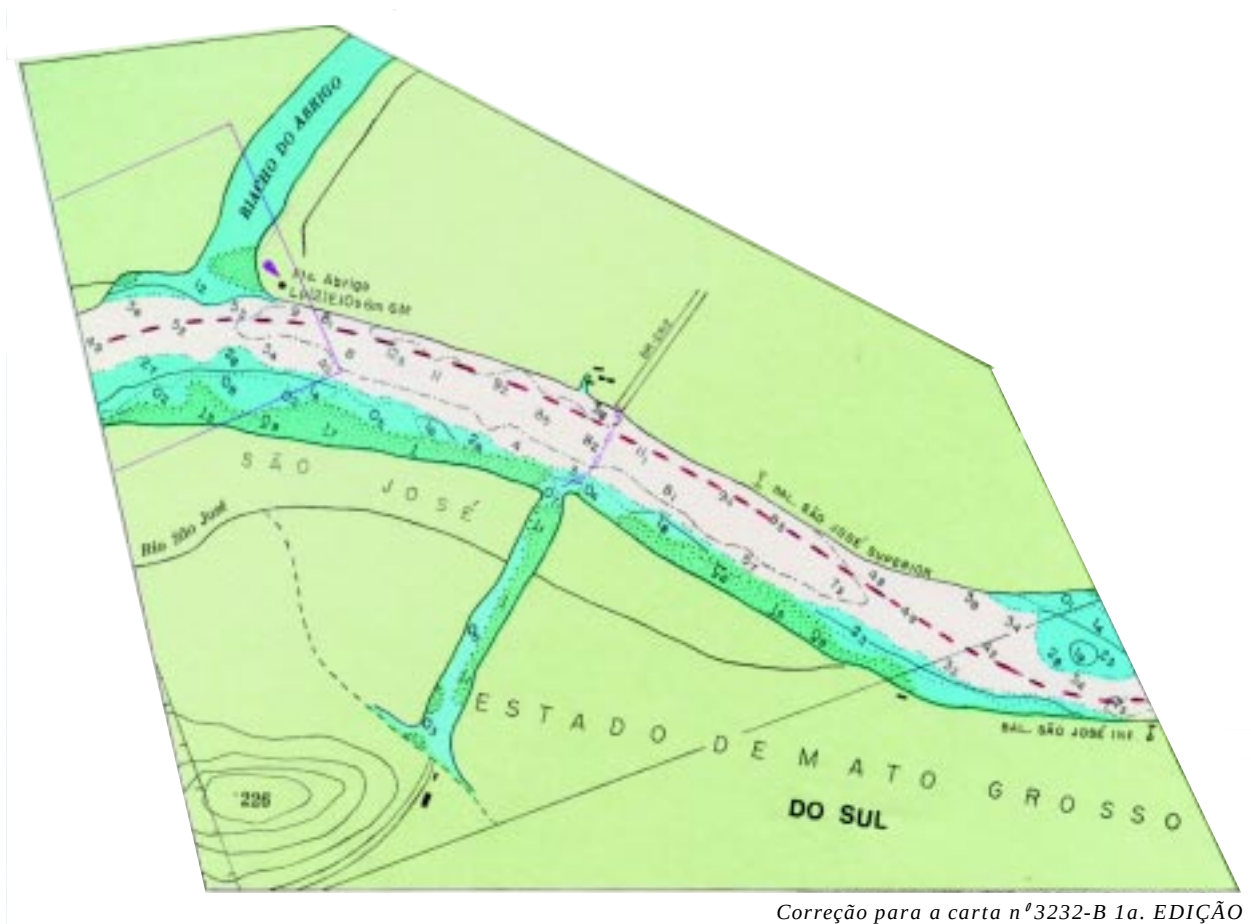


Figura 40.21 – Volta Redonda

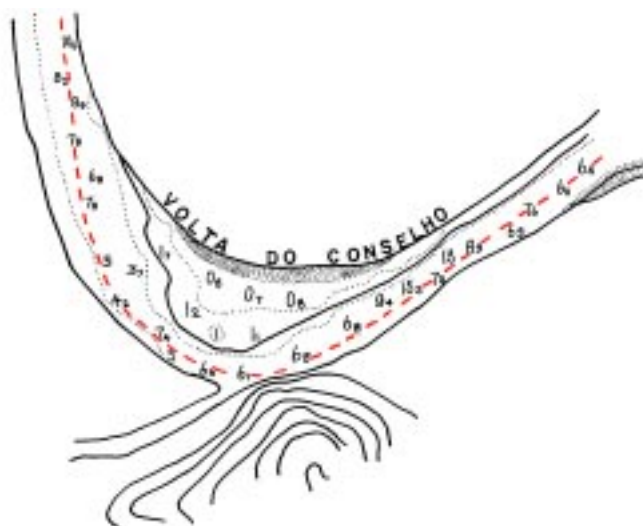
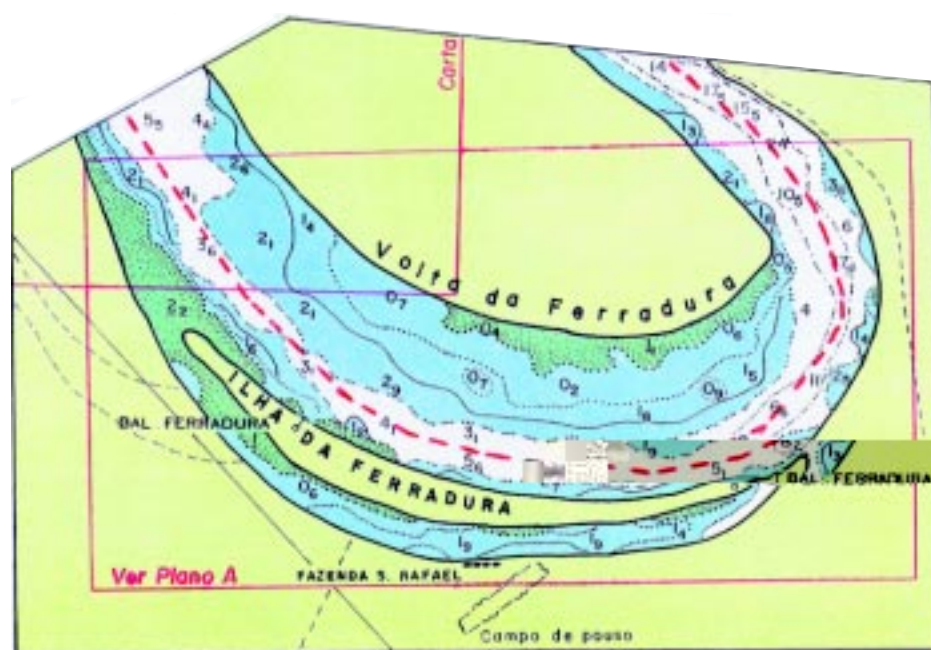


Figura 40.22 – Navegação em uma Volta Redonda

Reprodução de trecho da carta nº 3233 B 1a. EDIÇÃO

As manobras frente a **sacados** e **voltas rápidas** são mais complexas.

Uma volta rápida é uma curva muito fechada do rio, geralmente decorrente da formação de sacados.

Chamam-se sacados aos braços mortos dos rios, que constituíam antigas curvas tão fechadas que as margens quase se tangenciavam. Com o tempo, devido à força das águas, ocorre o rompimento da pequena faixa de terra que separava os dois trechos, abrindo uma passagem, que vai se aprofundando até se tornar o leito normal do rio. A parte da curva que deixou de receber a correntada mais forte vai sendo assoreada aos poucos, suas bocas se fecham e o trecho transforma-se em um braço morto. Na época de transição, enquanto as bocas do sacado não são tomadas pelas praias e por vegetação, é possível a confusão com o leito profundo. Na figura 40.23 estão representadas graficamente as diversas fases do fenômeno de formação de sacados.

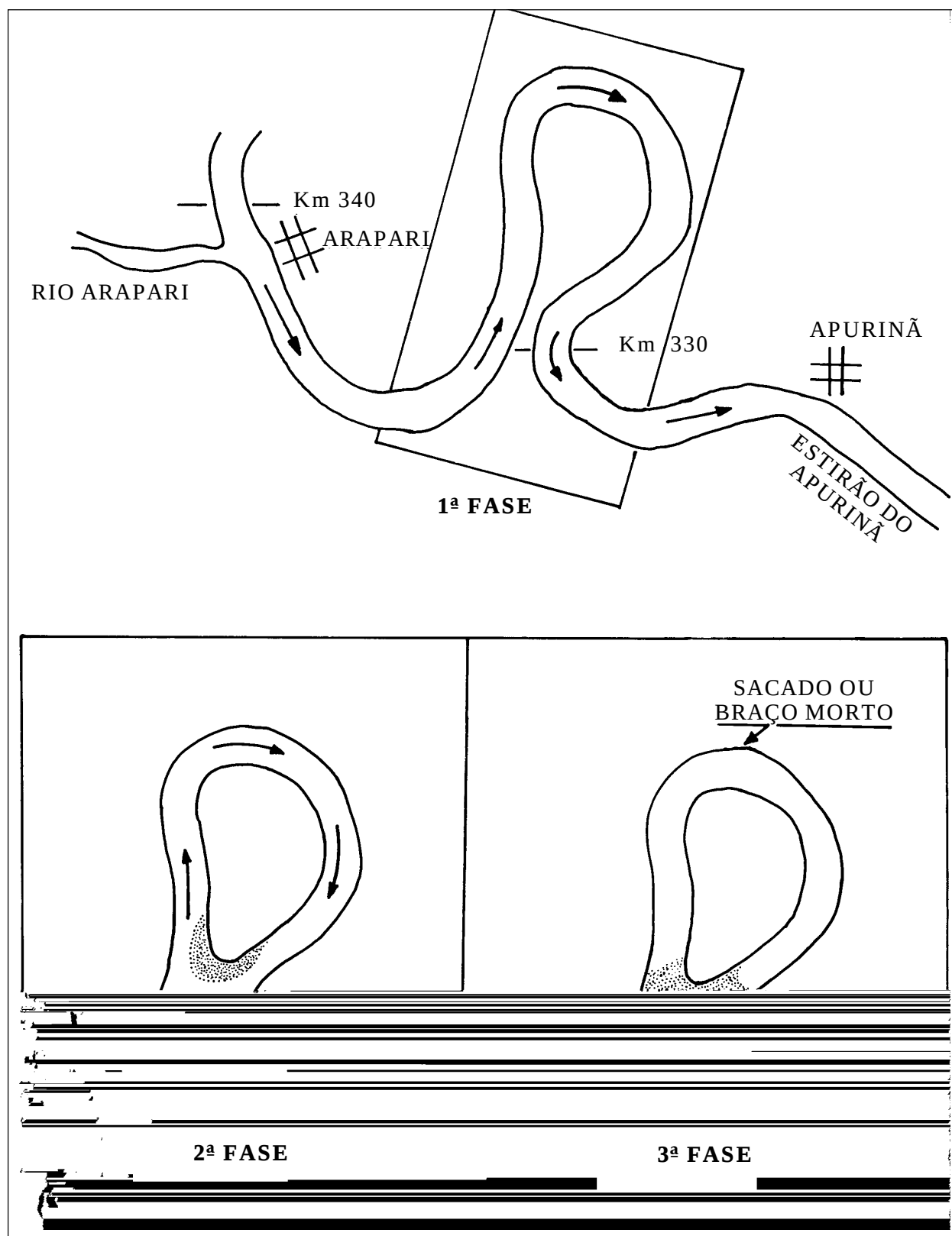
As voltas rápidas são, conforme já citado, sempre muito fechadas e nelas a correnteza é muito forte, o que as tornam difíceis de serem ultrapassadas. As figuras 40.24 e 40.25 mostram, respectivamente, uma volta rápida de formação recente e uma outra mais antiga, com a indicação dos seus acidentes mais notáveis (bancos, remansos, barrancos e pontas). As manobras para ultrapassar uma volta rápida devem ser as seguintes:

– Subindo o rio

Navegue com a velocidade normal, subindo o rio junto à margem (barranco), como na posição 1 da figura 40.26. Um pouco a jusante da ponta, afaste-se da margem buscando o meio do rio (posição 2). Quando tiver a ponta pelo través da proa, dê 15° a 30° de leme para cima dela (posição 3). O navio começará a guinar, mas, logo que receber na proa a correntada do trecho de cima da volta, reduzirá a guinada durante algum tempo, até que a ponta fique pelo través da popa, quando voltará a atender ao leme. Se, quando o navio estiver montando a ponta, começar a cair para o bordo contrário ao da guinada, na direção da **enseada**, parar a máquina de dentro; se ele ainda continuar caindo para a enseada, dê

atrás com a máquina de dentro e pare a máquina de fora (ou continue com ela adiante), a fim de virar rapidamente a proa, evitando que o navio caia na enseada, onde é raso, há remanso e onde o navio perde o governo. Após montar a ponta, navegar junto à margem desta, pois na outra há banco (posição 4).

Figura 40.23 – Processo de Formação de Sacados / Voltas Rápidas



- Descendo o rio

Navegue junto à margem (barranco), na posição 1 da figura 40.27. Um pouco a montante da ponta, afaste-se da margem, buscando o meio do rio. Quando a ponta estiver pelo través (posição 2), dê 30° de leme e deixe guinar até que a proa esteja dizendo para dentro da curva (posição 3). Vá buscar, então, a margem a jusante da ponta, evitando o banco da outra margem (posição 4).

Figura 40.24

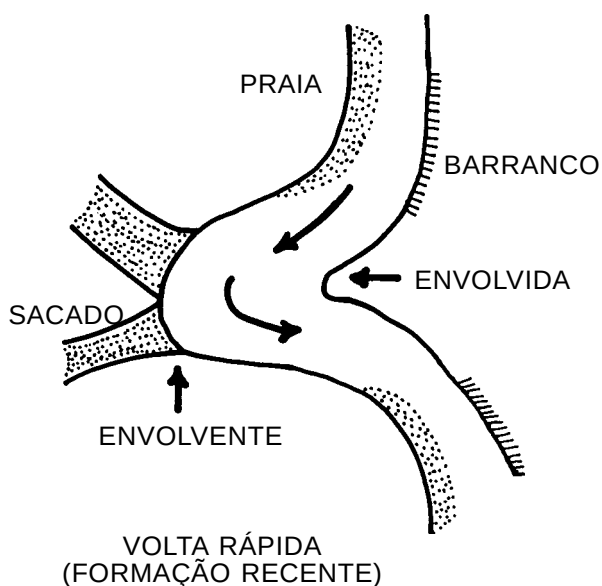


Figura 40.25

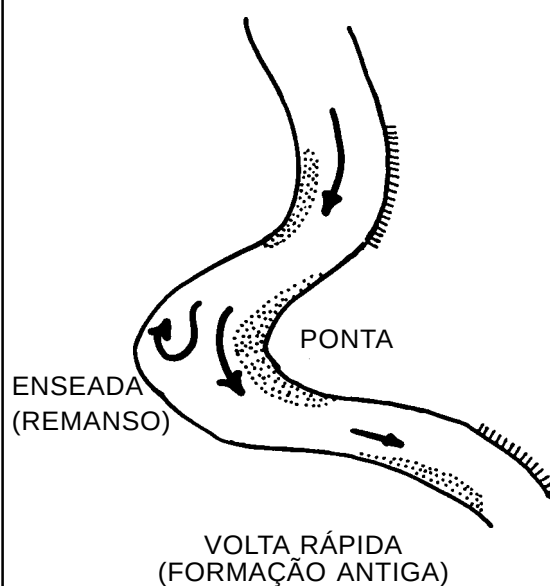


Figura 40.26

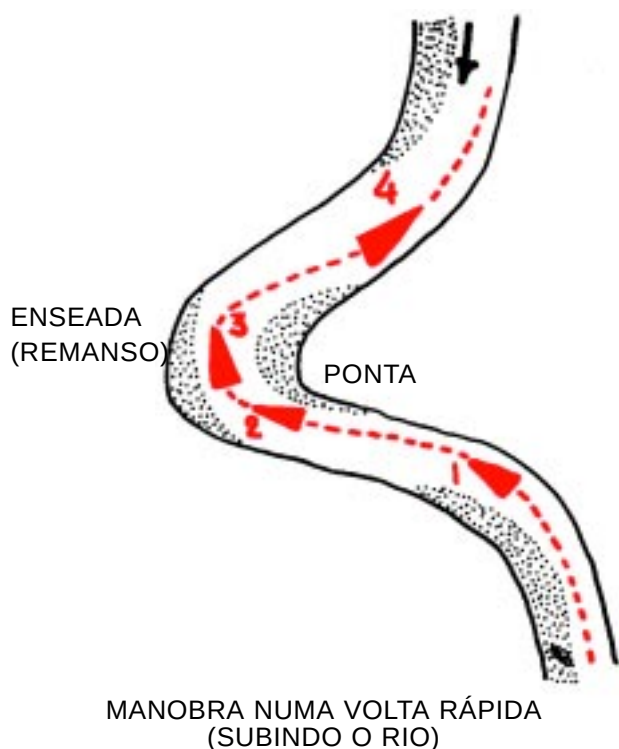
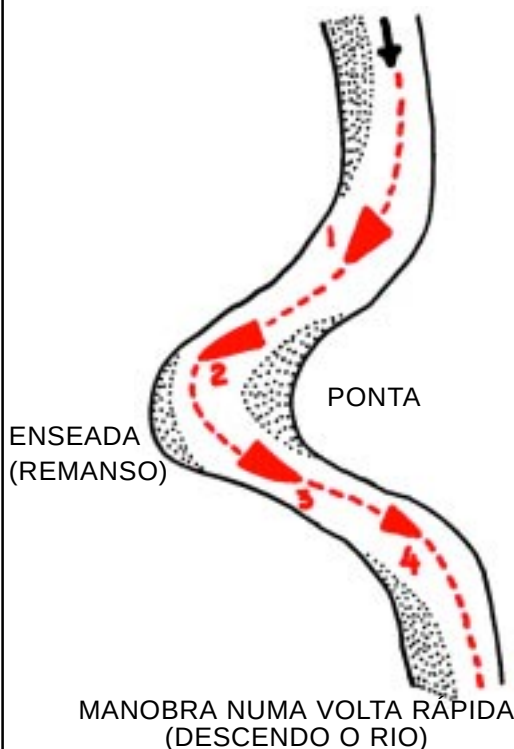


Figura 40.27



Outras normas e procedimentos úteis para a segurança da navegação fluvial são:

- a) Subindo o rio, navegar fora do canal principal (canal chefe) quando com profundidades maiores; com pequenas profundidades, seguir o canal chefe, evitando o lixo e troncos (não esquecer que, no princípio do período de enchente, que, nos rios da Amazônia ocorre a partir da 1ª quinzena de novembro, é normal descer o rio grande número de troncos e árvores inteiras, além de pedaços de barranco com vegetação, prejudicando seriamente a navegação, em especial à noite);
- b) descendo o rio, navegar no canal chefe, evitando o lixo e troncos; e
- c) em caso de dúvida da localização do canal chefe, observar:
 - a “lei da envolvente”;
 - a margem que tem barranco ou que está sendo “destruída”;
 - a margem com vegetação clara, nova ou rala; e
 - o lixo no rio.

O canal chefe, em geral, se localizará onde o lixo está descendo, próximo ou junto à margem que está sendo “destruída”, ou com vegetação densa e escura, com árvores de grande porte.

Na face envolvente das curvas a vegetação é, normalmente, constituída de grandes árvores, que se equilibram à beira dos barrancos, prestes a serem arrancadas pelo solapamento das águas e arrastadas pela correnteza. A tonalidade dessa vegetação é, em geral, verde escuro, já que é mais antiga e estava antes bem afastada da margem. Na face envolvida, a vegetação é completamente diversa, apresentando-se rala, com pequenos arbustos que nascem nas praias. Sua tonalidade é verde claro.

Os **paraná**s, que ligam, normalmente, trechos de um mesmo rio, envolvendo ilhas, podem ser usados para encurtar caminho, pois, devido às suas profundidades serem, em geral, menores que na calha principal, têm menor correnteza, além de carregarem menos lixo e troncos.

Além disso, nunca fundear no canal principal (canal chefe). Quando fundeado, conservar o navio iluminado no período noturno e manter rigorosa vigilância do tráfego nas proximidades.

O **Roteiro – Costa Norte** (publicação DH 1–I da DHN) recomenda algumas regras e procedimentos para navegação no rio Amazonas. Todos já foram anteriormente explicados, mas são reproduzidos abaixo por estarem bem sistematizados e para servirem como sumário das práticas descritas neste item:

- subindo o rio deve-se navegar, quando possível, nas áreas mais rasas, onde a correnteza é menor; descendo o rio deve-se navegar nas áreas mais profundas, onde a correnteza é maior;
- as profundidades junto às margens formadas por barrancos, geralmente cobertos de grandes árvores, são maiores, podendo-se navegar bem próximo delas; deve-se, porém, ter atenção a árvores caídas e submersas, com as raízes ainda presas à margem;
- as profundidades e a declividade das extensões do leito do rio que descobrem no período da seca (denominadas **praias**), situadas geralmente do lado da margem de dentro das curvas, são menores, devendo-se evitar navegar nas suas proximidades;

- nos trechos compreendidos entre duas pontas de uma mesma praia (denominados **cambões**), as maiores profundidades ficam quase a meio do rio, do lado oposto à praia;
- nos trechos longos e retilíneos situados entre duas praias (denominados **estirões**), deve-se navegar no meio do rio; nestes trechos podem existir ilhas baixas, longas e estreitas (denominadas **uranas**), situadas próximas e paralelas às margens do rio e cobertas de vegetação rasteira;
- nas áreas onde não há correnteza ou onde a correnteza é contrária à do rio (denominadas **remansos**), geralmente localizadas na margem de fora das curvas muito fechadas (denominadas **voltas rápidas**), as profundidades são bem menores, o fundo é sujo e o governo do navio é muito difícil;
- nas **voltas rápidas** a correnteza é muito forte e a passagem difícil, podendo ser necessário manobrar com máquina para o navio completar a guinada. Subindo o rio deve-se navegar junto ao barranco; pouco antes da ponta, passar para o meio do rio, quando a ponta estiver pelo través da proa, carregar o leme 15° a 30° para cima dela; e, ao montar a ponta, colar na margem dela, porque na outra há praia. Descendo o rio, deve-se navegar junto ao barranco; pouco antes da ponta, passar para o meio do rio; quando a ponta estiver pelo través, carregar o leme 30°, até que a proa esteja para dentro da curva, quando se deve navegar junto à margem da ponta, porque na outra há praia;
- nas curvas onde a curvatura do rio mantém-se constante (denominadas **voltas redondas**), deve-se navegar sempre na margem de fora, junto ao barranco, não atravessando o rio; e
- quando passar próximo a localidade que tenha trapiche, flutuante de atracação ou embarcação atracada ao barranco, ou ao cruzar com pequenas embarcações, a velocidade deve ser reduzida com antecedência, para diminuir o efeito destruidor do **banzeiro** provocado pelo deslocamento do navio.

Na técnica da navegação fluvial, o holofote (ou farol de busca) é um equipamento de grande importância. As embarcações fluviais normalmente possuem dois holofotes com foco de luz direcional, concentrado, sem formação de halo.

O uso criterioso do holofote, sempre de acordo com o RIPEAM, constitui um auxílio valioso para a navegação fluvial noturna, para identificar pontos conspícuos e acidentes notáveis nas margens, bocas de riachos, furos, igarapés e paranás, sinais do balizamento (que têm seus símbolos feitos de material refletor), além de outras embarcações e perigos à navegação. Pela regra 36 do RIPEAM, caso seja necessário atrair a atenção de uma outra embarcação, em uma situação de risco, pode-se orientar o fecho do holofote na direção do perigo, de tal maneira que não ofusque a outra embarcação. O holofote também é essencial para a passagem noturna sob pontes que cruzam a hidrovia, auxiliando a identificar o vão principal e a posição de seus pilares de sustentação. Com o tempo chuvoso, entretanto, o uso do holofote é ineficiente, uma vez que seus raios luminosos não conseguem penetrar e são dispersados pela chuva. A importância do holofote é tal que não devem ser esquecidas lâmpadas sobressalentes para o equipamento.

O uso do VHF também é importante na navegação fluvial, para definir o modo de cruzamento e ultrapassagem, especialmente em locais estreitos. O VHF deve ser utilizado para informar sua intenção de manobra e conhecer a intenção da outra embarcação, antes que se configure uma situação de risco. Além disso, nos rios canalizados o VHF deve ser empregado para comunicações com o controle das eclusas e para controle de tráfego em áreas especiais, como os canais de interligação ou de acesso às eclusas.

A técnica da navegação fluvial exige, ainda, cuidados permanentes com embarcações especiais que trafegam nas hidrovias, como, por exemplos, os **dracones** (depósitos de plástico ou borracha, destinados ao transporte de cargas líquidas, que, por não serem dotados de propulsão, normalmente são rebocados submersos) e as **jangadas** comuns na região amazônica. Essas **jangadas** são formadas por enormes toras de madeira amarradas entre si, subindo e descendo o rio tracionadas por embarcações pequenas, em geral sem força suficiente para garantir um bom governo e uma velocidade uniforme. Tais **jangadas** alcançam 100 metros de comprimento e, às vezes, até mais, com boca de cerca de 20 metros (ou o dobro, quando formadas em paralelo). Essas embarcações, em sua maioria, não exibem iluminação para identificação e navegação noturna, não possuem VHF e podem estar sendo conduzidas por pessoal não habilitado, tornando a navegação bastante perigosa, especialmente nos estreitos e furos, durante a noite.

A navegação fluvial também tem métodos e técnicas próprios sobre como proceder para obter a posição e como manter o acompanhamento da navegação. Num rio, muitas vezes é mais importante conhecer o posicionamento do navio em relação às margens do que, realmente, conhecer com precisão as coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) da posição.

Nos croquis de navegação e, algumas vezes, até mesmo nas cartas sistemáticas fluviais, a rede geográfica e o reticulado (conjunto de paralelos e meridianos) representados podem ser aproximados. Assim, uma posição geográfica precisa, em termos de Latitude e Longitude, como a obtida no GPS, pode não ser de grande valor. Em compensação, uma boa posição em relação a pontos conspícuos da margem representados na carta náutica ou nos croquis de navegação será, sem dúvida, importantíssima para a segurança da navegação e para orientar a manobra do navio a fim de manter-se corretamente no canal.

Assim, na navegação fluvial deve-se ter sempre em mente que as cartas e croquis de navegação podem não ter a mesma precisão das cartas náuticas de áreas marítimas, porque o próprio rio altera os contornos, porque a carta é feita para contornos a uma profundidade diferente da real (correspondente ao nível de redução) e porque o próprio posicionamento da rede geográfica é, na maioria das vezes, carente de exatidão. Resulta daí ser preferível a navegação em relação às margens, isto é, o posicionamento do navio relativo a pontos notáveis, sinais de balizamento e acidentes cartografados das margens. Em vista disso, adquire relevância a navegação por distâncias radar de pontos das margens. Este método é mais confiável que a navegação por marcações visuais.

Além disso, as indicações do ecobatímetro são, também, fundamentais para segurança da navegação fluvial. Um bom ecobatímetro, com registro gráfico ou mostrador que indique continuamente o perfil do fundo na área em que se navega, auxilia decisivamente o navio a manter-se no canal mais profundo, onde deve ser conduzida a navegação.

Em resumo, o posicionamento do navio por distâncias radar de pontos das margens, complementado por acompanhamento e identificação visual e pelas indicações do ecobatímetro, são procedimentos recomendados na navegação fluvial.

40.8 NORMAS E REGULAMENTOS ESPECIAIS PARA A NAVEGAÇÃO FLUVIAL

São ainda hoje conhecidas e muitas vezes citadas normas da época do Império, que estabeleciam os procedimentos para a navegação no rio Amazonas, seus afluentes e canais, como o Aviso nº 129, de 22/ABR/1868, do Ministro de Negócios da Marinha, que prescrevia:

“os navios subirão o Amazonas e seus afluentes, costeando, e descerão a meio rio; as embarcações que subirem e encontrarem outra pela proa, com a mesma direção e menor marcha, guinarão para o meio do rio; as que navegarem em sentidos contrários, logo que se avistarem..., a que descer navegará a meia força e a outra a um quarto ou menos; nas proximidades de pontas ou voltas que encobrirem estirões..., diminuirão para meia força, procedendo com a precisa antecedência aos sinais estabelecidos...”

Mais de um século depois, a Diretoria-Geral de Navegação, pela Portaria nº 001, de 08/JAN/1975, fazendo alusão a Acórdão do Tribunal Marítimo (processo nº 1962), datado de 28/ABR/1953, baseado naquele Aviso Imperial, estabeleceu:

“a) Nos trechos retos (estirões) e nas travessias de uma margem à outra, quando o canal mais profundo muda de margem:

I – os navios e embarcações que sobem o rio, deixarão os que descem por BB;

II – os navios e embarcações que ultrapassarem outros os deixarão por BE.

b) nas curvas:

I – os navios e embarcações que sobem o rio navegarão junto à margem mais profunda e os que descem o rio navegarão mais a meio do rio;

II – os navios e embarcações que ultrapassem outro, o deixarão pelo bordo que corresponde à margem mais profunda e, assim, navegarão mais a meio do rio na ocasião da ultrapassagem.”

A Portaria tinha como referências o Decreto nº 68.028, de 08/01/1971, que dispunha sobre a aplicação, em águas brasileiras, das regras do REGULAMENTO INTERNACIONAL PARA EVITAR ABALROAMENTO NO MAR (RIPEAM), e o Decreto nº 67.687, de 30/11/1970, que aprovava o sistema de Luzes de Navegação em águas interiores brasileiras.

A partir de 15 de julho de 1977, entrou em vigor o novo RIPEAM, aprovado durante a Conferência Internacional realizada em Londres e concluída em outubro de 1972. Segundo este Regulamento, de acordo com a Regra 9 (a):

“Uma embarcação que estiver navegando ao longo de um canal estreito ou numa via de acesso, deverá se manter tão próxima quanto seja possível e seguro do limite exterior desse canal ou via de acesso que estiver a seu boreste”.

A sua Regra 34 (e) estabelece:

“Quando uma embarcação estiver se aproximando de uma curva ou de uma área de um canal estreito ou via de acesso onde outras embarcações podem estar ocultas devido a obstáculos, ela deve soar um apito longo. Este sinal deve ser respondido por um apito longo por qualquer embarcação que o tenha ouvido, que se esteja aproximando do outro lado da curva ou detrás da obstrução.”

As normas atualmente em vigor regulamentando a navegação em hidrovias interiores do Brasil determinam que devem ser obrigatoriamente observadas as regras do RIPEAM, complementadas por regras especiais estabelecidas pela Autoridade Marítima (Marinha do Brasil). Tais regras prescrevem manobras especiais e definem termos como “águas interiores brasileiras”, “embarcação restrita”, “comboio”, “unidade integrada”, “jangada”, “banzeiro”, “barcaça”, “dracones”, etc., conceituando “embarcação com capacidade de manobra restrita”, apontando normas para evitar o “banzeiro” e para as passagens em pontes e eclusas, além de dispositivos sobre Luzes e Marcas, Luzes de Reboque e Empurra, etc.

As principais regras de manobra e velocidade estabelecidas especialmente para as águas interiores brasileiras (vias navegáveis interiores, como rios, canais, lagos e lagoas em que ambas as margens, ou limites, estão em território nacional) são:

(a) Nas águas interiores brasileiras, a embarcação restrita devido ao seu comprimento e boca (isto é, a embarcação de propulsão mecânica que, devido às suas dimensões em relação às profundidades ou área de manobra disponível, está com severas restrições para se desviar do rumo que está seguindo) deve ser considerada como **embarcação com capacidade de manobra restrita**, tendo a precedência estabelecida no **RIPEAM** para este tipo de embarcação;

(b) as embarcações transportando, rebocando ou empurrando carga explosiva ou inflamável também deverão ser consideradas como embarcações com capacidade de manobra restrita, adquirindo a precedência estabelecida no **RIPEAM** para este tipo de embarcação;

(c) toda embarcação deverá navegar com velocidade apropriada sempre que cruzar com embarcações pequenas e embarcações empurrando ou rebocando, que devem ser protegidas contra avarias causadas pela ação de **maretas** ou **banzeiros** (ondas provocadas pelo deslocamento de uma embarcação);

(d) toda embarcação deverá navegar com velocidade apropriada sempre que se aproximar de qualquer embarcação amarrada a trapiche, cais ou barranco, de modo a evitar a formação de maretas ou banzeiros, que podem provocar avarias nas referidas embarcações;

(e) uma embarcação não deverá cruzar ou ultrapassar outra sob vãos de pontes, a menos que o canal ofereça uma largura compatível para a passagem simultânea;

(f) as embarcações, à aproximação para passagem sob pontes móveis, obedecerão às ordens eventualmente dadas pela administração da ponte;

(g) as embarcações, à aproximação de eclusas, obedecerão às normas vigentes e às ordens eventualmente dadas pela administração da eclusa;

(h) uma embarcação que estiver navegando ao longo de um canal estreito ou numa via de acesso deverá se manter tão próxima quanto seja possível e seguro do limite exterior desse canal, ou via de acesso, que estiver a seu **boreste**. Isto é, deve-se navegar tão próximo quanto possível e seguro da margem de **boreste** do rio e dar um apito longo antes das curvas, ou quando se aproximando de obstáculos;

(i) uma embarcação com propulsão mecânica navegando em rios ou canais com a **corrente a favor** terá preferência de passagem quando cruzar com uma embarcação navegando **contra a corrente**. A embarcação com preferência indicará a maneira e o local da passagem e efetuará os sinais de manobra prescritos no RIPEAM, segundo as circunstâncias. A embarcação que estiver navegando contra a corrente se manterá parada, para possibilitar uma passagem segura;

(j) nenhuma embarcação de comprimento inferior a 20 metros, ou veleiro, cruzará o rio estando no visual, com risco de abalroamento, uma embarcação de propulsão mecânica navegando no canal, a favor ou contra a corrente;

(l) nas águas interiores brasileiras, as Regras para Condução de Embarcações em Visibilidade Restrita aplicam-se quando navegando dentro ou próximo de uma área onde a visibilidade, embora restrita, é, ainda, superior a 1.000 metros. Quando a visibilidade for inferior a 1.000 metros e as circunstâncias e características físicas do rio, ou outra via navegável, determinarem, as embarcações não prosseguirão navegando, devendo fundear ou atracar, se possível o mais afastado do canal de navegação;

(m) no caso de reboque e empurra, quando se aproximar uma embarcação, o rebocador poderá direcionar um feixe de luz para o reboque, a fim de indicar sua presença; e

(n) o Comandante ou Patrão das embarcações com propulsão própria, com 12 metros de comprimento ou mais, deverá levar a bordo um exemplar das Regras Especiais Complementares ao RIPEAM para Navegação nas Águas Interiores Brasileiras, para consulta imediata quando seja necessário.

Para navegação em **eclusas e canais artificiais**, devem ser obedecidas as seguintes regras, de acordo com as “Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior”:

– SINALIZAÇÃO CONVENCIONADA PARA ORDENAMENTO DA ECLUSAGEM

(a) As ordens de movimentações das embarcações, nas manobras de acostagem ao muro-guia e entrada e saída da eclusa, serão informadas pelo Operador da Eclusa através do equipamento rádio, em canal perfeitamente definido, sendo posteriormente confirmadas pelos seguintes sinais luminosos, dispostos no muro-guia e na entrada da eclusa;

(1) Duas luzes encarnadas, dispostas na horizontal: eclusa fora de operação/ bloqueio de passagem;

(2) uma luz amarela: a embarcação deverá aguardar autorização para acostar ao muro-guia ou para entrada na eclusa; e

(3) uma luz verde: a embarcação está autorizada a acostar ao muro-guia ou adentrar na câmara da eclusa.

SINALIZAÇÃO ÓTICA	MURO-GUIA	ECLUSA
	FORA DE OPERAÇÃO	FORA DE OPERAÇÃO
	AGUARDAR AUTORIZAÇÃO PARA ACOSTAR	AGUARDAR AUTORIZAÇÃO PARA ENTRAR NA CÂMARA
	AUTORIZADA A ACOSTAR	AUTORIZADA A ENTRADA

ENCARNADA



AMARELA



VERDE



APAGADA



(b) Quando a embarcação já estiver dentro da câmara da eclusa serão acionados, pelo Operador da Eclusa, os seguintes sinais sonoros:

(1) Início e fim da operação de enchimento ou esvaziamento da eclusa: um toque de sirene longo; e

(2) autorização para iniciar o procedimento de saída da eclusa: dois toques de sirene longos.

– USO DE CANAIS DE COMUNICAÇÕES DO SISTEMA MÓVEL MARÍTIMO

(a) As Administrações poderão definir canais distintos para suas eclusas, usando-se os canais 12, 13 ou 14 de VHF, com a denominação de Serviço de Apoio à Eclusagem (SAE).

(b) O canal 16 é para uso exclusivo de emergência e chamada.

(c) As embarcações utilizarão o canal 6 para comunicações entre si, nas proximidades das eclusas.

(d) As Capitânicas Fluviais manterão um sistema de escuta no canal 16, com tráfego preferencial pelo canal 10.

– APROXIMAÇÃO DAS ECLUSAS E ESPERA

(a) A embarcação que pretenda passar pela eclusa deverá proceder da seguinte maneira:

(1) Trinta minutos antes de chegar à eclusa deverá estabelecer contato com o Operador da mesma, através do equipamento de comunicação, pelo SAE (Serviço de Apoio à Eclusagem) e informar que está se deslocando para o PPO (Ponto de Parada Obrigatória). Nessa oportunidade, tomará conhecimento do horário estimado para sua entrada na eclusa; e

(2) a partir do PPO, as embarcações deverão manter escuta permanente no canal SAE, até o término do processo de eclusagem.

(b) A área fluvial demarcada pelos PPO de montante e jusante, inclusive a eclusa, é considerada Área de Segurança, sendo seu tráfego controlado pelo Operador da Eclusa.

(c) A embarcação ao chegar ao PPO deverá fundear ou pairar sob máquinas, não devendo ultrapassar as que já se encontram no local, aguardando a autorização do Operador da Eclusa, através do SAE, para prosseguir no deslocamento em direção à eclusa.

(d) As amarrações próximas às entradas das eclusas e aos muros-guia são proibidas, exceto nos locais determinados para a espera de eclusagem.

(e) Fica a exclusivo critério do Comandante da embarcação prosseguir no deslocamento, com segurança, em direção à eclusa, ou mesmo se afastar, em função das condições meteorológicas reinantes.

(f) Sob condições de baixa visibilidade, inferior a mil metros, nenhuma embarcação que não possua equipamento radar poderá passar pela eclusa.

– PROCEDIMENTOS DURANTE A ECLUSAGEM

(a) Durante a eclusagem, as embarcações deverão estar sob os cuidados de sua tripulação, vigiadas e convenientemente amarradas, sem poder, em caso algum, ser amarradas às portas, às escadas ou a outros locais, senão aos cabeços flutuantes ou a outros específicos para amarração. A amarração não deve ser desfeita até que seja dado o sinal sonoro de dois toques de sirene longos. As máquinas das embarcações só serão dispensadas após a conclusão definitiva da amarração pela popa e pela proa.

(b) Dentro da eclusa os comandantes e os tripulantes devem observar as orientações que lhes forem dadas pelo Operador da Eclusa, com vistas a assegurar a rapidez na passagem, assim como a plena utilização e segurança na operação.

(c) As embarcações não devem permanecer nas eclusas por tempo superior ao necessário à operação de eclusagem, devendo as mesmas entrar ou sair imediatamente ao receberem o sinal sonoro correspondente.

(d) As manobras solicitadas pelo Operador da Eclusa devem ser prontamente executadas, para se evitarem atrasos nas eclusagens subseqüentes.

(e) No convés aberto das embarcações, quando dentro das câmaras das eclusas, somente poderão circular os tripulantes que estiverem na faina de amarração, os quais obrigatoriamente deverão estar vestindo coletes salva-vidas.

(f) É vedado o embarque, desembarque ou transbordo de passageiros, tripulantes ou carga no interior da eclusa ou em seus canais de acesso.

– POLUIÇÃO

(a) É proibido lançar na água, no interior da eclusa, qualquer objeto sólido ou líquido, pois poderá acarretar danos à câmara da eclusa. O Operador da Eclusa comunicará a infração à Capitania Fluvial para serem aplicadas as sanções previstas em legislação específica.

(b) A aplicação das sanções previstas aos infratores por poluição não isenta os responsáveis pelas demais obrigações que lhes forem imputadas pelos órgãos de meio ambiente federal ou estadual, nem das despesas decorrentes da remoção do material lançado ou da recuperação dos danos causados à eclusa.

– TRÁFEGO EM CANAL ARTIFICIAL

(a) Todas as embarcações que estiverem navegando em canal artificial deverão, obrigatoriamente, ser providas de equipamento de comunicação, de forma a possibilitar o contato com o serviço do tráfego do canal a ser estabelecido pela Administração.

(b) As embarcações ao chegarem ao PPO deverão fundear ou pairar sob máquinas, na seqüência de chegada, e aguardar autorização do Operador, através do sistema de comunicações, para adentrar no canal.

(c) O tráfego de embarcações em canais artificiais poderá ser interrompido pela Administração, quando as condições vigentes puderem provocar fortes correntes, ou em situações de obstrução do canal por acidente de navegação ou em condições meteorológicas ou hidrológicas adversas.

(d) Fica a exclusivo critério do Comandante da embarcação prosseguir viagem, em direção ao canal, nas condições de tempo e correnteza desfavoráveis.

(e) Dentro do canal, os comandantes e demais usuários devem observar as orientações que lhes forem dadas pelo Operador, com vistas a assegurar a rapidez de passagem pelo mesmo, assim como a sua plena utilização e segurança da operação.

(f) A ultrapassagem de embarcações trafegando no mesmo sentido só poderá ser feita com autorização do controlador do canal.

(g) É proibido o tráfego de embarcações rebocadas por tração no interior dos canais artificiais.

(h) São proibidos a atracação, o fundeio e a travessia no interior dos canais artificiais.

– INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS DAS EMBARCAÇÕES

(a) Com a finalidade de segurança, estatística e planejamento, todas as embarcações usuárias de eclusas deverão fornecer ao Operador da Eclusa, através do equipamento de comunicação, as seguintes informações:

(1) Nome da embarcação, calado, boca e comprimento (se comboio, discriminar cada embarcação);

(2) carga/passageiros – tipo, quantidade/número;

(3) porto de origem e data de saída;

(4) porto de destino e previsão de chegada;

(5) categoria e nome do comandante; e

(6) fatos relevantes dignos de registro, tais como: deficiências de funcionamento dos sistemas de propulsão, de inversão de marcha, de governo, de equipamento de combate a incêndio, das defensas e espias, e outros.

40.9 EMPREGO DE EMBARCAÇÕES ADEQUADAS, COM RECURSOS PRÓPRIOS PARA NAVEGAÇÃO FLUVIAL

As embarcações fluviais devem ter características adequadas às possibilidades de navegação da hidrovia a que se destinam. Assim sendo, são necessários estudos individuais visando o estabelecimento de embarcações-tipo para cada hidrovia em particular. Um erro comum é tentar adaptar uma dada hidrovia para um determinado tipo de embarcação ou comboio; o correto é tornar as embarcações compatíveis com as possibilidades da via navegável.

Na bacia Amazônica, por exemplo, uma embarcação apropriada para a navegação na calha principal pode não o ser para a maioria dos afluentes, cada um com suas próprias condições de navegabilidade.

Na hidrovia Jacuí-Taquari – Guaíba-Lagoa dos Patos, estendendo-se até o porto do Rio Grande, o comboio integrado, composto por empurrador e chatas, que talvez fosse a melhor solução para o trecho Jacuí-Taquari-Guaíba, sofre muito na Lagoa dos Patos nas ocasiões de mau tempo, quando, então, a embarcação de transporte autopropulsada apresenta, seguramente, um melhor desempenho.

Entretanto, como características gerais desejáveis para qualquer tipo de embarcação fluvial podem ser citados:

- Pequeno calado, compatível com a mínima lâmina d'água normalmente encontrada na hidrovia;
- dimensões adequadas aos raios de curvatura das curvas da hidrovia;

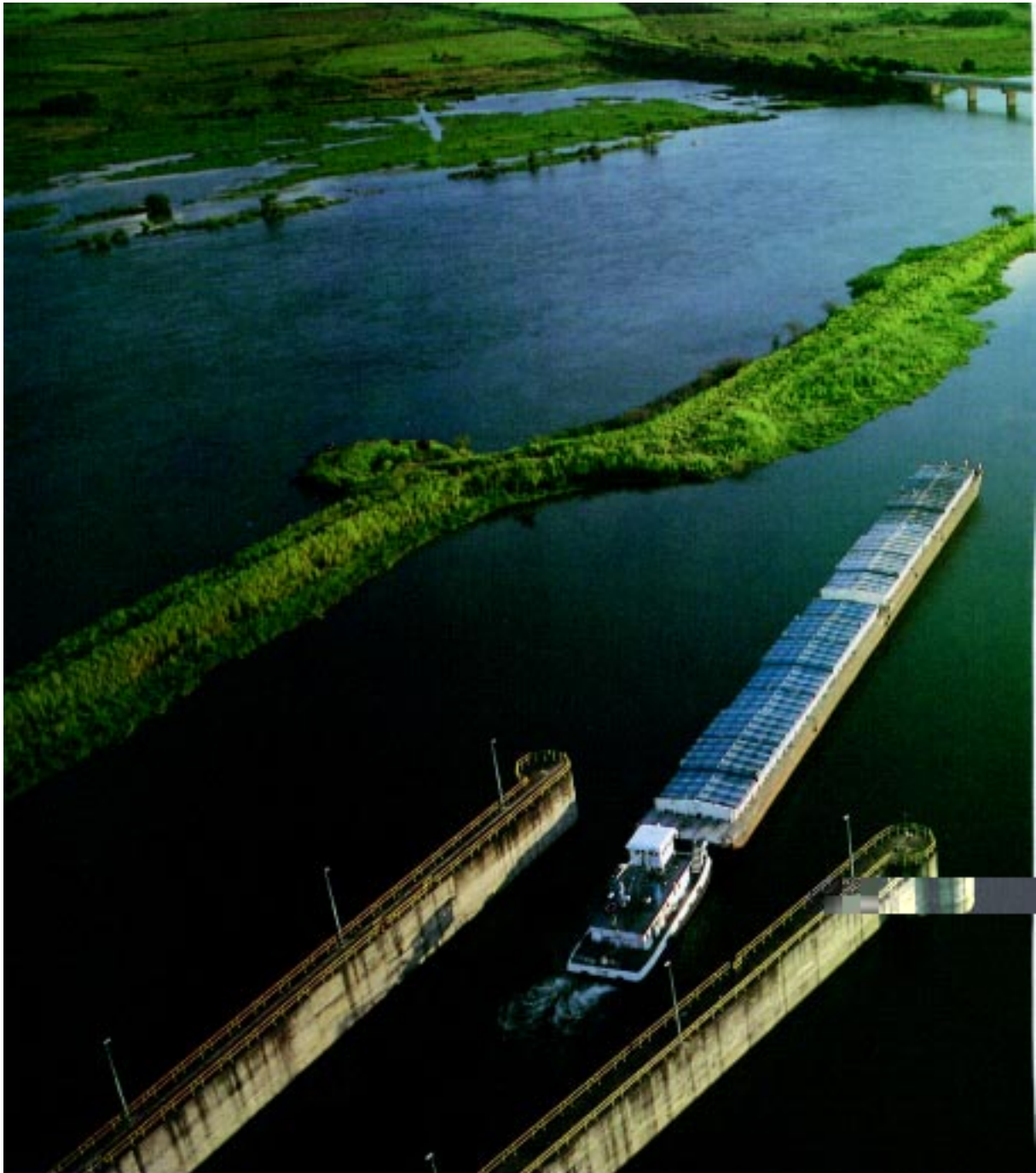
- proteção para os apêndices do casco (lemes, hélices, pés-de-galinha, etc.);
- boas características de manobra;
- estabilidade dinâmica para guinadas bruscas;
- ampla visibilidade do passadiço;
- comando das máquinas no passadiço;
- recursos para desencalhe por meios próprios;
- capacidade adequada de armazenagem de combustível e recurso para tratamento da água do rio;
- disponibilidade de radar com grande poder de discriminação em distância (ótimo recurso para evitar bocas falsas, sacados, etc.);
- disponibilidade de holofote com foco de luz direcional, concentrado, sem formação de halo; e
- disponibilidade de ecobatímetro capaz de determinar profundidades muito pequenas e indicar continuamente o perfil do fundo.

No que se refere ao transporte de carga, várias conquistas da tecnologia contribuíram para acelerar a racionalização em matéria de diversificação de tipos de embarcações.

Na Europa, após a primeira guerra mundial, surgiram os cascos de aço. A seguir, veio a motorização dos lanchões, como consequência lógica do aperfeiçoamento dos motores a explosão, a partir de 1920. O automotor tomou, então, a dianteira, consolidada logo após a segunda guerra mundial, sobre os comboios rebocados. A aparição da técnica de empurra, levada dos Estados Unidos para a Europa, no fim da década de 50, contribuiu para provocar uma nova revolução na navegação interior e se, ainda hoje, a percentagem de automotores é apreciável, isto se deve às características reduzidas das vias navegáveis européias, que não permitem, ainda, a utilização, em melhores condições, deste tipo de transporte fluvial. As vantagens decorrentes desta nova técnica aparecem claramente, comparando-se o número de automotores construídos na França entre 1950/1960 e entre 1960/1966. Nesses dois períodos, passou de 1.380 a 272. No Brasil, os comboios de empurra são intensamente utilizados, em várias de nossas hidrovias (figura 40.28).

As tendências atuais das embarcações empregadas na navegação interior podem ser assim resumidas:

- Os tipos mais variados de embarcações tendem a desaparecer pela modificação dos gabaritos das vias em que trafegam;
- utilização, cada vez mais intensa, de comboios de empurra, na maior dimensão compatível com a via;
- utilização de automotores em canais e alguns rios menores, para transporte rápido, entre pontos fixos, especialmente de cargas de rápido manuseio nos portos (granéis);
- constituição de empresas armadoras, com enormes frotas de embarcações padronizadas;
- especialização das embarcações, visando a determinados tipos de carga;
- utilização dos modernos meios eletrônicos para facilitar e aumentar a segurança da navegação (radar, ecobatímetro, radiotelefonia, cartas eletrônicas, etc.);

Figura 40.28 – Comboio da Hidrovia Tietê-Paraná

- melhoria das condições de vida das tripulações a bordo;
- navegação ininterrupta (diurna e noturna), graças a balizamento apropriado e emprego de tripulantes em número que permita o necessário rodízio;
- aumento da potência dos motores, melhoria dos sistemas propulsivos e de manobras, e emprego dos modernos métodos de construção naval;
- busca de padronização das dimensões; e
- procura de unificação das cargas diversas, com o uso de contêineres e outros equipamentos similares.

40.10 CONCLUSÕES

A figura 40.29 apresenta, esquematicamente, diversas situações em que são empregados vários métodos, técnicas, manobras e procedimentos recomendados para uma navegação fluvial segura, bem como as regras do RIPEAM e as regras especiais complementares para navegação nas hidrovias interiores brasileiras.

1 – **DESCENDO O RIO** (seguir pela figura 40.29):

O navegante deve lembrar sempre que, descendo o rio, o navio tem menor capacidade de manobra, maior velocidade absoluta e, no caso de encalhe, a situação pode ser grave; além disso, “in extremis” dificilmente consegue manobrar para evitar abalroamentos. Por isso, a navegação de montante para jusante requer muita cautela.

(A) Num estirão onde o canal profundo está a meio do rio, navegar deixando o canal um pouco a BB, ou seja, aproximar-se da margem de BE, mantendo-se um pouco à direita do canal;

(B) aproximando-se de uma volta redonda, observe que o canal, em geral, está próximo da margem de fora da curva;

(C) mantenha-se sempre um pouco à direita do canal profundo, isto é, deixando-o por BB;

(D) aproximando-se de área com estreitamento do rio ou entradas de furos, atenção especial para com o tráfego. Diante de povoações ribeirinhas ou de locais onde haja trapiches com embarcações amarradas, diminuir a velocidade para evitar o “banzeiro”;

(E) trecho em que o canal está a BE. Navegue sobre o canal;

(F) volta rápida (descendo o rio). Navegue sobre o canal (F1). Quando a ponta estiver pelo través (F2), apite e dê bastante leme a BB; deixe guinar até que a proa esteja dizendo para dentro da curva (F3). Depois de guinar, vá buscar o canal (F4);

(G) passo ou travessia (mudança de posição do canal); presença de banco ou pedras; o canal profundo passa para a margem esquerda; navegue deixando o canal sempre um pouco a BB, se for possível e seguro;

(H) estirão onde o canal profundo está a BB. Navegue um pouco a BE do canal;

Descendo o rio, opção de trajeto pelo paraná:

(b) Atenção: ao investir a entrada de um paraná, descendo o rio, diminua a marcha, apite e redobre a vigilância; posicione-se, tanto quanto possível, junto  margem a BE;

(c) ao passar por um paraná reduza a velocidade e,  noite, redobre a vigilância. Observe que os estreitos são, em geral, sinuosos e as luzes das embarcações que costeiam a margem mudam continuamente, confundindo aqueles que navegam em sentido contrário; e

(d) ao sair de um paraná, mantenha-se atento, com velocidade reduzida.

2 – **SUBINDO O RIO** (seguir pela figura 40.29):

Subindo o rio o navio tem melhores qualidades de manobra, menor velocidade absoluta e, no caso de encalhe, a situação , em geral, menos grave; portanto,  normalmente a embarcação que está em melhores condies para manobrar a fim de evitar abalroamentos.

Ⓘ Num estirão onde o canal está junto à margem esquerda, coloque-se o mais próximo possível dessa margem, a BE, deixando o canal profundo um pouco a BB;

⓵ na mudança de margem do canal (passo ou travessia), continue navegando com o canal a BB, porém atento para as profundidades;

⓶ volta rápida (subindo o rio). Quando a ponta estiver pelo través (L_1) apite e dê leme para cima da ponta. O navio começará a guinar, mas logo que receber na proa a correntada do trecho de cima da volta, reduzirá a guinada durante algum tempo, até que a ponta fique pela popa (L_2), quando voltará a atender o leme. Todo cuidado deve ser tomado para que o navio não caia na enseada, onde é raso, há remanso e o navio pode perder o governo;

⓷ estirão com o canal na margem direita. Navegue tão junto à margem de BE quanto for possível e seguro;

⓸ diante de povoações ribeirinhas ou de locais onde haja trapiches com embarcações amarradas, diminua a marcha para evitar o “banzeiro”;

⓹ numa volta redonda, subindo o rio, navegue tão junto à margem de BE quanto possível e seguro;

⓺ estirão com canal a meio do rio. Navegue o mais próximo possível da margem de BE, deixando o canal um pouco pelo seu BB;

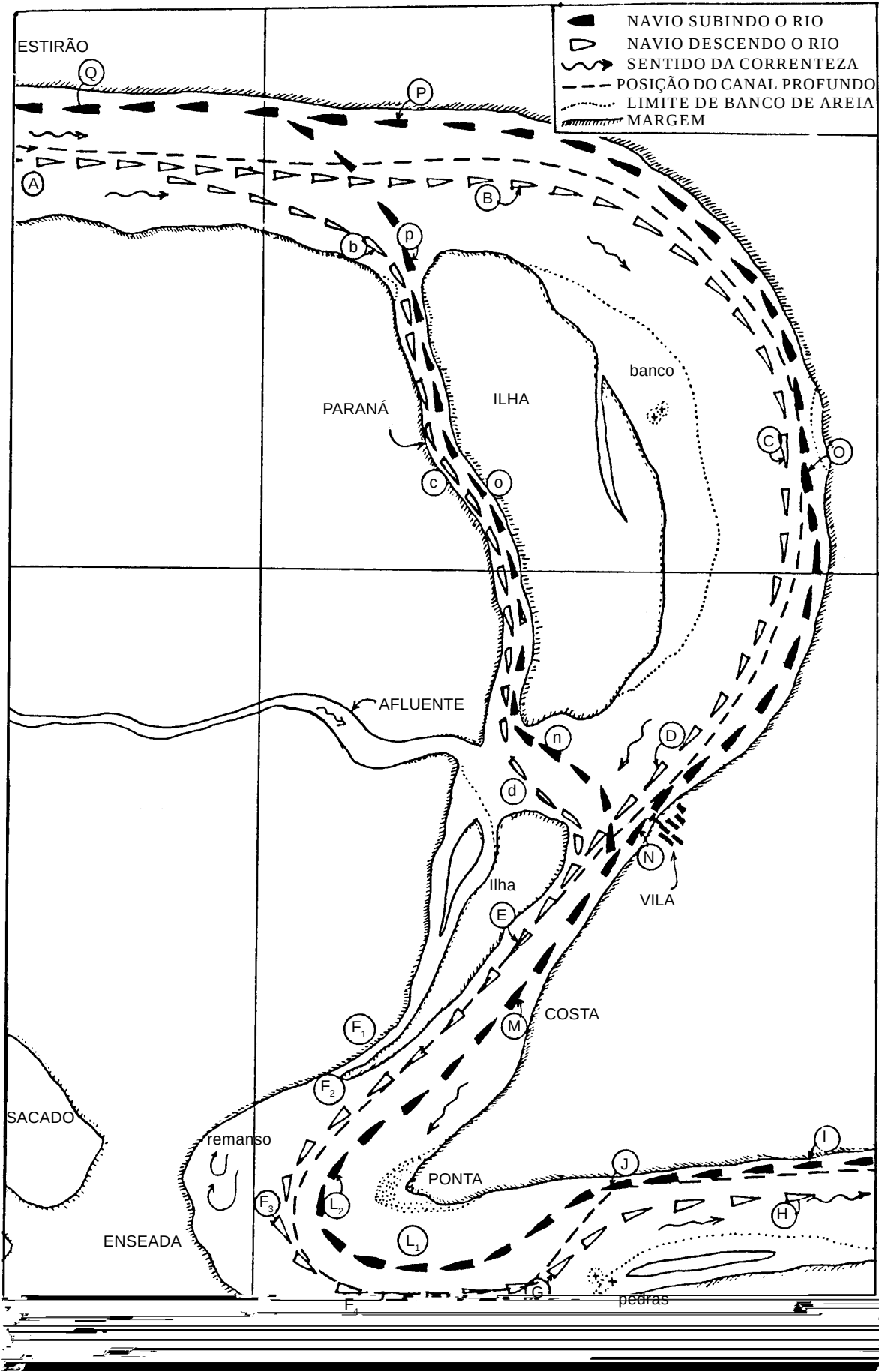
Subindo o rio, opção de trajeto pelo paraná:

ⓓ Ao investir a entrada do paraná, redobre a vigilância. As pontas e curvas ocultam embarcaes em sentido contrário. Apite;

ⓔ num estreito reduza a velocidade e redobre a vigilância. Navegue tão junto quanto possível da margem de BE; e

ⓕ ao sair de um furo, muito cuidado com as embarcaes que, em sentido contrário, descendo o rio, podem estar investindo sua entrada, com velocidade; busque a margem de BE.

OBSERVAÇÃO: Em rios de condies de navegação restritas, tais como o rio Paraguai, afluentes menores e subafluentes da bacia Amazônica, bem como nos furos e paranás, as embarcaes que sobem o rio (ou seja, as que navegam contra a correnteza, que, inclusive, em alguns trechos do estuário muda de sentido pela influência da maré) devem evitar cruzar com embarcaes que descem o rio nas travessias, isto , nos locais onde o canal muda de margem e nos pontos em que há estreitamento do canal. Se necessário, as embarcaes que sobem o rio devem aguardar que as embarcaes que descem completem a travessia ou a passagem no trecho em que o canal  estreito.



41.1 INTRODUÇÃO

a. LIMITES E GEOGRAFIA DAS REGIÕES POLARES

Qualquer definição de limites das **regiões polares** não satisfaz completamente às necessidades de todos os que se interessam por essas áreas. Na Astronomia, os **paralelos de latitude** nos quais o **Sol** se torna **circumpolar** (o **Círculo Polar Ártico** e o **Círculo Polar Antártico**, nas latitudes de cerca de 66,5° N e 66,5° S, respectivamente) são considerados os **limites inferiores**.

Na Meteorologia e Oceanografia os limites são linhas irregulares que no Ártico coincidem aproximadamente com o extremo norte das florestas da Groenlândia, norte do Canadá, Alasca, Sibéria e norte da Noruega; e na região polar sul com a Convergência Antártica.

Para propósitos de navegação, podem-se considerar as **regiões polares** como estendendo-se desde os **pólos geográficos** da Terra até as Latitudes de 60° (N e S), com uma **região de transição subpolar**, nas proximidades dos paralelos de 60°. As regiões polares também incluem os dois pólos magnéticos da Terra.

O Oceano Ártico é um corpo de água um pouco menor em área que os Estados Unidos, que é quase completamente circundado por terra, como mostrado nas figuras 41.1 e 41.2. Algumas dessas terras são altas e acidentadas, cobertas por uma calota de gelo permanente; outras são baixas e pantanosas quando descongelam. O subsolo

permanentemente congelado, denominado **permafrost**, impede uma drenagem adequada, resultando em um grande número de lagos e lagoas, além de áreas extensas de terreno mole e esponjoso (**“muskeg”**) com vegetação de musgos e tufos de gramíneas. Observam-se, também, grandes áreas de **tundra**, planícies árticas das costas baixas da Rússia (Sibéria) e do Canadá, com vegetação consistindo de musgos, líquens e arbustos, tendo, normalmente, uma camada de **permafrost** subjacente.

Figura 41.1 – A Região Polar Norte (Ártico)

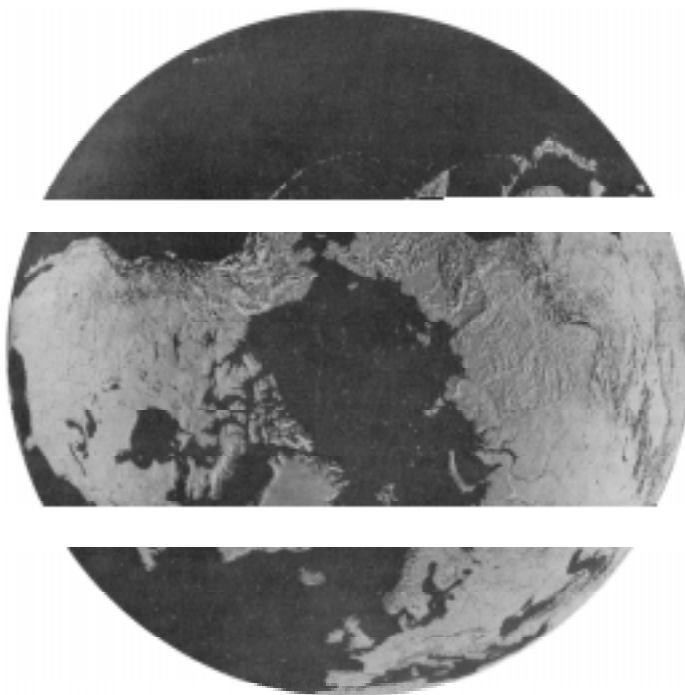
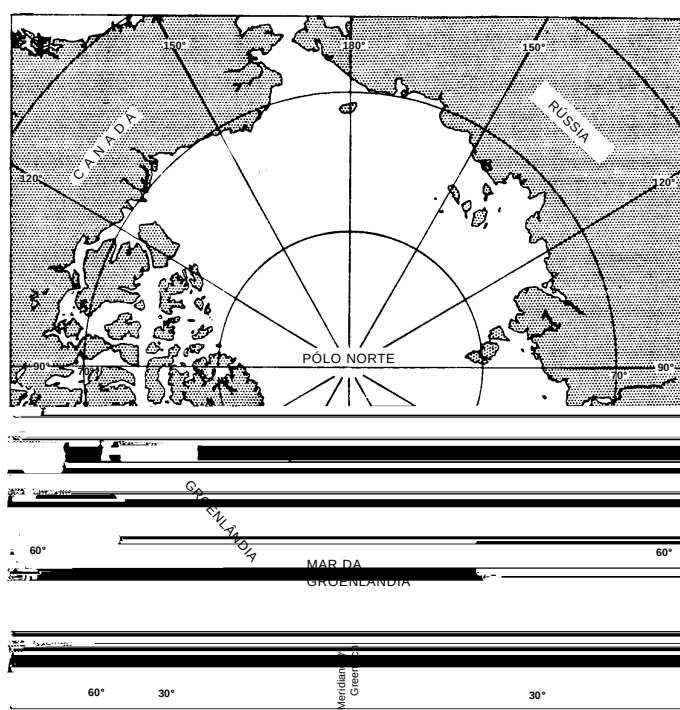


Figura 41.2 – O Ártico

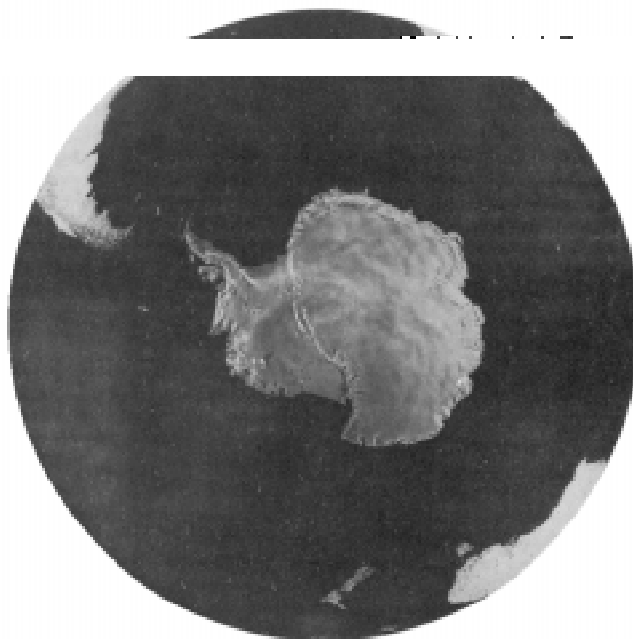


A Groenlândia é montanhosa e notável por seus muitos **fiordes**, braços de mar longos, estreitos e profundos, entre montanhas elevadas. Sua porção norte é coberta por uma pesada calota de gelo. Seu extremo norte é o Cabo Morris Jesup, a cerca de 380 milhas do pólo Norte.

A parte central do Oceano Ártico é uma bacia com uma profundidade média de cerca de 3.600 metros (12.000 pés); o fundo não é plano, apresentando vários montes submarinos e fossas abissais. A maior profundidade é superior a 4.900 metros (16.000 pés); no **pólo Norte**, a profundidade é de 4.313 metros (14.150 pés). Circundando a bacia polar, existe uma extensa plataforma continental, quebrada apenas na área entre a Groenlândia e o Spitzbergen. As muitas ilhas do arquipélago norte-canadense situam-se sobre esta plataforma. O Mar da Groenlândia (a leste da ilha do mesmo nome), a Baía de Baffin (a oeste da Groenlândia) e o Mar de Bering, ao norte das Ilhas Aleutas, cada um tem sua bacia independente. Devido às condições de gelo, navios de superfície não podem penetrar até o pólo Norte; entretanto, no verão já foram alcançadas Latitudes bastante elevadas.

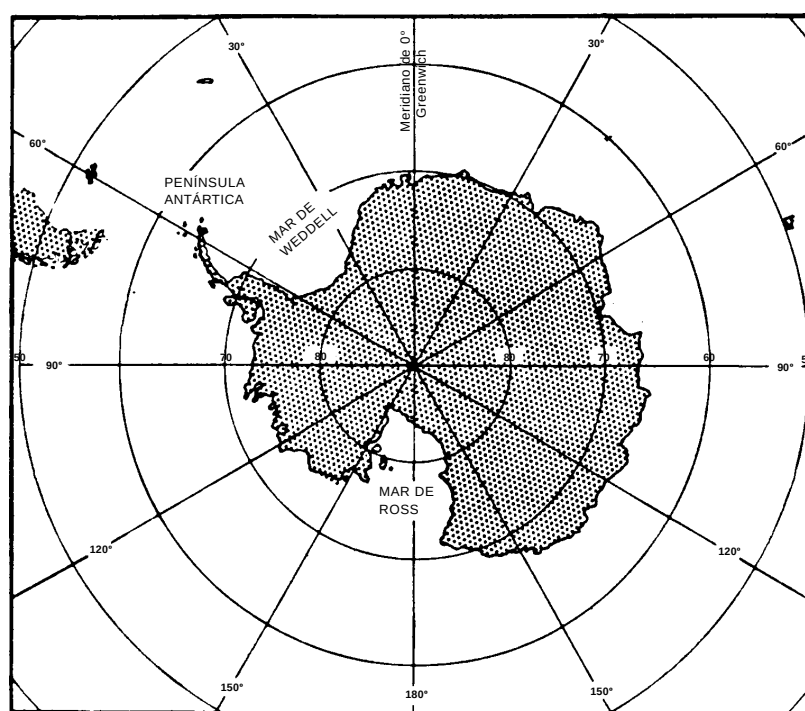
Em contraste com o Ártico, a **região polar sul**, ou **Antártica***, apresenta uma massa terrestre alta e montanhosa, com cerca de 14 milhões de quilômetros quadrados, totalmente cercada por água (figuras 41.3 e 41.4). Há um planalto polar extenso, coberto com gelo e neve, de cerca de 3.000 metros (10.000 pés) de altitude. Diversas cadeias de montanhas na Antártica possuem picos elevados, alcançando altitudes de 4.000 metros (13.000 pés) e maiores. A **altitude média** da Antártica, cerca de 1.850 metros (6.000 pés), é maior do que a de qualquer outro continente. A altitude do **pólo Sul** é de aproximadamente 2.900 metros (9.500 pés). A barreira representada pela massa terrestre e por plataformas de gelo formidáveis, de 200 a 1.000 metros de espessura, impede os navios de alcançarem Latitudes muito elevadas. A maior parte da costa da Antártica é alta e acidentada, com poucos portos e fundeadouros seguros (com uma notável exceção na região da Península Antártica e arquipélagos próximos).

Figura 41.3 – A Região Polar Sul (Antártica)



* Tal como fazem a Marinha do Brasil e a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), este capítulo utilizará a denominação de **Antártica** para a região polar sul do planeta, em vez de **Antártida**, termo também empregado para designar a mesma área.

Figura 41.4 – A Antártica



b. PRINCIPAIS FATORES QUE AFETAM A NAVEGAÇÃO NAS REGIÕES POLARES

Tornou-se necessário o desenvolvimento de técnicas especiais para adaptar a **navegação** às condições únicas das **regiões polares**. Estas condições são resultado, principalmente, de **Latitudes extremamente altas e fatores meteorológicos**.

(1) EFEITOS DE LATITUDES ELEVADAS

O raciocínio normal do navegante faz-se em termos do “**mundo retangular**” da Projeção de Mercator, na qual os **meridianos** são linhas verticais igualmente espaçadas, perpendiculares aos **paralelos de latitude**, representados por linhas horizontais (desigualmente espaçadas, em virtude das **Latitudes crescidas**). As direções (**rumos e marcações**) são medidas com relação aos meridianos. Os **rumos** são mantidos e as **marcações** obtidas através do uso de **agulhas náuticas, magnéticas ou giroscópicas**. Uma linha reta na Carta de Mercator é uma **loxodrômica**, isto é, a **linha de rumo** usada normalmente para os propósitos da navegação. Os astros nascem no horizonte a leste, galgam sua altura máxima na passagem meridiana e se põem a oeste. Nesse seu movimento aparente, o Sol divide naturalmente o dia em dois períodos aproximadamente iguais, um de claridade e um de escuridão, separados por períodos de transição relativamente curtos, os crepúsculos (especialmente curtos nas regiões tropicais). As horas do dia são associadas ao movimento diário do Sol.

Nas regiões polares as condições são diferentes. Todos os **meridianos** convergem para os **pólos**, que são centros de uma série de círculos concêntricos, que constituem os **paralelos de latitude**. A **rápida convergência dos meridianos** torna o conceito normal de **direção** inadequado para alguns propósitos. Uma **loxodrômica (linha de rumo)** é uma curva que difere notavelmente de uma **ortodrômica (arco de círculo máximo)**, inclusive para curtas distâncias. Até mesmo as **marcações visuais** não podem

ser adequadamente representadas como **loxodrômicas**. No **pólo Sul**, todas as direções são **norte**. Dois observadores poderão estar ao sul um do outro, bastando, para isso, que o pólo Sul esteja entre eles.

No **pólo**, o **Zênite** e o **pólo celeste** coincidem. Desta forma, também coincidem o **equador** e o **horizonte celeste**, e a **Declinação** e a **altura** de um astro são iguais. Por isso, os astros só variam de **altura** com a variação de **Declinação**.

Assim, as **estrelas** movem-se no céu sem variação de altura. Os **planetas** nascem e se põem uma vez em cada **período sideral** (12 anos para Júpiter; 30 anos para Saturno). No **pólo Sul**, o Sol nasce a 23 de setembro, descreve vagarosamente uma espiral até uma **altura máxima** de cerca de 23° 27', próximo de 21 de dezembro e, então, inicia uma espiral descendente para o horizonte, até cerca de 21 de março, quando desaparece por outros 6 meses. Os períodos de **crepúsculos**, que se seguem ao pôr-do-Sol e que precedem o seu nascer, duram diversas **semanas**. A **Lua** nasce e se põe cerca de uma vez a cada mês. Somente astros com **Declinação Sul** são visíveis do **pólo Sul**.

A longa noite polar não é totalmente escura. A **Lua Cheia** nesse período eleva-se relativamente alta no céu. A luz da “**aurora australis**” na Antártica é, muitas vezes, bem brilhante, ocasionalmente excedendo até mesmo a da Lua Cheia. Mesmo os **planetas** e **estrelas** contribuem com uma apreciável quantidade de luz nessa área, onde a cobertura de neve proporciona uma excelente superfície refletora.

Todos os **fusos horários**, bem como todos os meridianos, convergem para os pólos. Assim, os conceitos de **Hora Legal** e **Fusos Horários** perdem seus significados normais, pois a hora do dia não tem relação direta com os períodos de claridade e escuridão ou com a altura do Sol. Desta forma, as estações científicas na Antártica mantêm a hora de seus países de origem ou a HMG (Hora Média de Greenwich).

(2) EFEITOS METEOROLÓGICOS

As regiões polares são frias, mas a temperatura no mar não é tão extrema como em terra. Durante o **verão antártico**, a temperatura normalmente permanece acima do ponto de congelamento sobre o oceano. No interior do Continente Antártico, entretanto, poucos pontos têm registrado temperaturas acima de 0°C, sendo a parte mais fria do mundo.

Cerração e nebulosidade ocorrem com freqüência nas **regiões polares**, embora haja menos precipitações que em algumas regiões desérticas, pois o ar frio tem pequena capacidade de acumular umidade. O ar muito frio sobre o oceano aberto algumas vezes produz vaporização na superfície, podendo alcançar uma altura de centenas de pés. Este fenômeno é chamado de **fumaça gelada** ou **fumaça do mar** (“**frost smoke**” ou “**sea smoke**”). Quando não há cerração, nebulosidade ou “frost smoke”, a visibilidade é, normalmente, excelente. O som se propaga muito bem, de forma tal que, algumas vezes, pode ser ouvido a grandes distâncias.

Inversões de temperatura ou fortes discontinuidades no gradiente térmico produzem, às vezes, miragens e valores extremos de refração. Já houve ocasiões de o Sol nascer vários dias antes do esperado na primavera. Horizontes falsos não são raros.

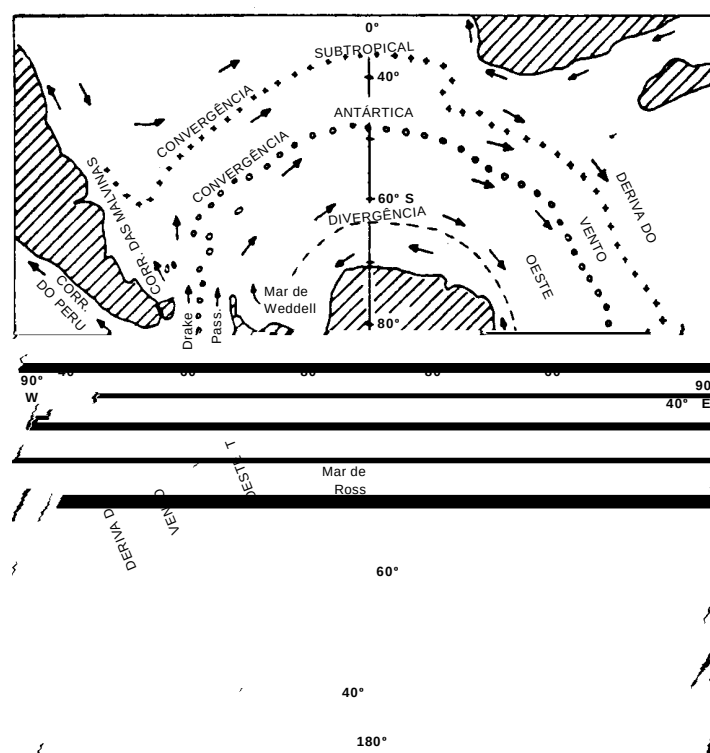
Ventos fortes são comuns na Antártica e na região subantártica. A Antártica é, por isso, conhecida como a **morada dos ventos** (“**home of the blizzards**”). O cinturão de água que circunda a Antártica é o mais tempestuoso do mundo, caracterizado como uma área de ventos fortes e mares bravios (ao contrário do Oceano Ártico, onde quase não são encontrados ventos fortes).

Nas regiões polares e subpolares, o principal perigo para os navios é o **gelo**, tanto o formado por congelamento da água do mar como o formado em terra e que se desprende e flui para o oceano. Muitas áreas terrestres baixas permanecem livres de gelo ou neve no verão antártico.

Quando a neve mascara todos os acidentes de superfície e o céu é coberto por uma camada uniforme de nuvens **cirrostratus** ou **altostratus**, o horizonte desaparece e a terra e o céu se misturam, formando uma extensão branca contínua, sem interrupções. Nessa situação, pontos de terra não podem ser distinguidos e torna-se impossível estimar distâncias, pela absoluta falta de contraste. O fenômeno é chamado de **branco total antártico** (“**antarctic white out**”), sendo perigosíssimo para operações aéreas, principalmente para o voo de helicóptero (é como voar dentro de um copo de leite).

Na Antártica, as correntes marítimas podem ser fortes e a circulação geral ao largo é **para leste**, ou no **sentido horário**, em torno do continente. Próximo da costa, entretanto, uma corrente mais fraca, fluindo **para oeste**, ou no **sentido anti-horário**, pode ser encontrada. Além disso, há muitas correntes locais (figura 41.5).

Figura 41.5 – Circulação Geral na Antártica e Posição Média das Convergências Antártica e Subtropical



c. OUTROS FATORES QUE AFETAM A NAVEGAÇÃO NAS REGIÕES POLARES

As **tempestades magnéticas** centradas nas **zonas de aurora** perturbam as radiocomunicações e alteram os desvios das agulhas magnéticas, em virtude da fraca intensidade horizontal do campo magnético terrestre.

O solo congelado das regiões polares é mau condutor, o que constitui outro fator que afeta adversamente a propagação das ondas de rádio, empregadas nos sistemas de radionavegação.

d. SUMÁRIO DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS PARA A NAVEGAÇÃO NAS REGIÕES POLARES

O sumário que se segue apresenta as características mais relevantes e os principais problemas que afetam a navegação nas regiões polares e subpolares.

1. Altas Latitudes;
2. Rápida convergência dos meridianos (as noções de hora e longitude perdem sua correlação normal);
3. Movimento diurno dos astros quase horizontal;
4. Períodos prolongados de claridade, crepúsculos e semi-escuridão;
5. Temperaturas médias muito baixas;
6. Verões curtos e frios; invernos longos e rigorosos;
7. Sensação térmica elevada (“wind-chill factor”);
8. Razão de evaporação baixa;
9. Pouca precipitação;
10. Ar seco (umidade absoluta baixa);
11. Condições excelentes de propagação do som;
12. Cerração e nebulosidade intensas;
13. Períodos de excelente visibilidade;
14. Grande número e variedade de miragens;
15. Refração anormal e falsos horizontes;
16. Perigo constante de gelo no mar;
17. Áreas de gelo permanente marítimo e terrestre;
18. Áreas de solo permanentemente congelado;
19. Congelamento de parte do oceano;
20. Atividade auroral intensa;
21. Grandes áreas com fraca intensidade horizontal do campo magnético terrestre;
22. Tempestades magnéticas intensas;
23. Propagação incerta das ondas eletromagnéticas;
24. Ventos fortes e mares tempestuosos (na região antártica);
25. Tempestades de neve;
26. Cartas náuticas não confiáveis;
27. Limitações da agulha giroscópica nas altas Latitudes;
28. Imprecisões da agulha magnética nas regiões polares;
29. Limitações da projeção de Mercator nas altas Latitudes;
30. Ausência de auxílios à navegação nas regiões polares.

Os problemas para a navegação nas regiões polares e subpolares podem ser agrupados nas seguintes categorias, que estudaremos separadamente, a seguir: projeções cartográficas e cartas náuticas das regiões polares; fatores ambientais e sua influência no desempenho de equipamentos e sistemas de navegação; determinação de direções e de distâncias e determinação da posição do navio nas regiões polares.

41.2 CARTOGRAFIA NÁUTICA DA REGIÃO ANTÁRTICA

a. PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS

Projeção de Mercator

Como se sabe, a Projeção de Mercator é, desde muito, a favorita dos navegantes, principalmente porque uma **linha de rumo** (ou loxodromia) é representada como uma **linha reta**, que faz com as transformadas dos meridianos um ângulo constante e igual ao seu **azimute (rumo)**. Do ponto de vista da navegação, a Projeção de Mercator resolveu graficamente com tal sucesso os problemas da estima, da plotagem de rumos, marcações e posições e da obtenção das coordenadas geográficas de pontos, que sua popularidade é inexcedível e seu emprego incomparável. Mesmo em altas Latitudes, o navegante demonstra uma compreensível preferência pelas Cartas de Mercator, que têm sido usadas virtualmente em quaisquer Latitudes que navios tenham alcançado.

Entretanto, à medida que a Latitude aumenta, a superioridade da Projeção de Mercator diminui, principalmente porque o valor da **linha de rumo** torna-se progressivamente menor. Em Latitudes maiores que 60°, as limitações da projeção começam a ser significativas. Além da Latitude de 70°, tornam-se críticas. Na clara atmosfera polar, marcações visuais podem ser observadas a grandes distâncias (algumas vezes de até 50 milhas, ou mais). O emprego de uma **loxodromia** para representar uma marcação introduz um erro em qualquer Latitude, mas, em altas Latitudes, este erro torna-se excessivo.

Ademais, a impossibilidade de representação dos pólos e o valor exageradamente crescente das deformações lineares e superficiais nas altas Latitudes constituem outras limitações para o uso da Projeção de Mercator nas Cartas Náuticas das regiões polares. De fato, a razão crescente de variação da escala sobre uma Carta de Mercator em altas Latitudes resulta em distorções na forma das massas terrestres e acidentes geográficos e erros na medição de distâncias.

Contudo, a Projeção de Mercator pode ser usada satisfatoriamente até a Latitude de 80°, desde que sejam tomadas precauções especiais quanto ao uso da escala das distâncias. Assim sendo, esta Projeção pode ser usada na Cartografia Náutica de praticamente toda a Região Antártica, onde as Latitudes acima de 80° são ocupadas pelo Continente Antártico. Além disso, os Sistemas de Navegação por Satélites contribuíram para reduzir as limitações da Projeção de Mercator para o uso em regiões polares, em virtude de fornecer diretamente as coordenadas geográficas (**j** e **l**) da posição do navio, que pode, então, ser plotada na carta com precisão, mesmo em altas Latitudes.

Outras Projeções utilizadas nas Cartas Polares

As excessivas deformações nas altas Latitudes e a impossibilidade de representação dos pólos limitam o uso da Projeção de Mercator para cartografia das regiões polares. Há necessidade, então, de selecionar outras projeções para representação dessas áreas.

As principais considerações para escolha de um sistema de projeção conveniente para navegação polar são:

- (I) **CONFORMIDADE** – é desejável que os ângulos (direções) sejam corretamente representados, de modo que a plotagem possa ser feita diretamente sobre a carta, sem correções complicadas;

- (II) **REPRESENTAÇÃO DOS CÍRCULOS MÁXIMOS** – como os círculos máximos (ortodromias) são mais úteis em altas Latitudes que as linhas de rumo (loxodromias), é desejável que os círculos máximos sejam representados por linhas retas;
- (III) **ESCALA CONSTANTE** – é desejável que se tenha uma escala constante em toda a carta; e
- (IV) **LIMITES DE USO** – limites amplos de utilização são desejáveis, para reduzir ao mínimo o número de projeções necessárias.

As três projeções comumente selecionadas para cartas polares são a **Transversa de Mercator**, a **Conforme de Lambert modificada** e a **projeção polar estereográfica**. São, ainda, utilizadas a **projeção gnomônica** e a **azimutal eqüidistante**. Próximo ao pólo, há pouco o que se escolher entre elas, pois aí todas são essencialmente conformes e em todas os círculos máximos são praticamente representados por linhas retas. Entretanto, conforme a distância ao pólo aumenta, devem ser consideradas as características distintas de cada projeção.

A projeção Transversa de Mercator é **conforme** e o tipo de distorção que apresenta é familiar a quem está acostumado a usar uma Carta de Mercator. As distâncias podem ser medidas da mesma maneira que em uma Carta de Mercator. Assim, na cartografia das regiões polares as vantagens da Projeção de Mercator, tais como facilidade de construção e plotagem rápida dos pontos, podem, ainda, ser aproveitadas pela rotação do cilindro de 90° em Azimute, ficando, então, tangente em um meridiano, o qual passa a ser o equador fictício. Nesta projeção, dentro das regiões polares, os paralelos são praticamente circunferências concêntricas e os meridianos divergem ligeiramente de linhas retas; os arcos de círculos máximos também podem ser considerados linhas retas, desprezando-se o pequeno erro cometido. Um pequeno inconveniente na medida de ângulos pode resultar da curvatura dos meridianos.

A projeção é excelente para o uso em uma faixa estreita em torno do meridiano de tangência e para emprego com sistema automático de navegação que gera Latitude e Longitude. Em uma carta na Projeção Transversa de Mercator, próximo ao meridiano de tangência uma linha reta aproxima-se muito de um círculo máximo na esfera terrestre. É nesta área que a carta é mais útil.

O sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) é uma grade quilométrica superposta a um reticulado da Projeção Transversa de Mercator, para fins técnico-científicos ou militares. O sistema UTM é muitas vezes utilizado para construção de Folhas de Bordo e Folhas de Sondagens produzidas em Levantamentos Hidrográficos e para cartas militares.

A projeção Conforme de Lambert modificada é virtualmente conforme em toda a sua extensão e as distorções de escala mantêm-se pequenas quando a carta estende-se até cerca de 25° a 30° do pólo. Além desse limite, as distorções crescem rapidamente. Um círculo máximo é praticamente uma linha reta em qualquer ponto da carta. Distâncias e direções podem ser medidas diretamente na carta. A Projeção Conforme de Lambert modificada (ou Projeção de Ney) usa um paralelo muito próximo ao pólo como paralelo padrão mais alto. Assim, esta projeção cônica com dois paralelos padrões requer pouca deformação para representar os paralelos como círculos e eliminar o círculo que representaria o pólo.

A outra projeção comumente utilizada em cartografia das regiões polares é a projeção polar estereográfica, que é conforme em toda a sua extensão e na qual um círculo máximo difere muito pouco de uma linha reta. A distorção de escala não é excessiva para uma distância considerável do pólo, mas é maior que na Projeção Conforme de Lambert modificada. A variação de escala pode ser reduzida usando um plano secante, que corte a Terra em um paralelo intermediário entre o pólo e o paralelo mais afastado, de forma que as distorções sejam divididas, com a porção dentro deste paralelo padrão comprimida e a porção fora dele expandida.

O navegante das regiões polares deve estar preparado para usar qualquer desses tipos de projeção, pois a cobertura de sua área de operações pode estar representada em qualquer um, ou vários, deles.

b. PLOTAGEM EM CARTAS POLARES

A plotagem em uma carta com meridianos que convergem, como na Projeção Conforme de Lambert, requer cuidados especiais. As distâncias são medidas na escala de Latitudes, assim como na Carta de Mercator, mas, como esta escala é praticamente constante, qualquer parte dela pode ser usada sem introduzir um erro significativo. Algumas dessas cartas apresentam uma **escala de milhas** próximo à sua borda, que pode ser usada em qualquer parte da carta.

Como os meridianos convergem, uma linha reta faz ângulos diferentes com cada meridiano. Por esta razão, **rosas de rumos** não são costumeiramente representadas neste tipo de carta. Se constarem da carta, cada uma só se aplica ao meridiano sobre o qual estiver localizada. A melhor maneira de se plotar ou medir uma direção numa carta na Projeção Conforme de Lambert (com meridianos convergentes) é usando um plotador tipo “NAVY” ou um plotador paralelo. Para medir um rumo entre dois pontos plotados na Carta, utiliza-se o meridiano médio da perna (linha que une os dois pontos), conforme mostrado na figura 41.6a. Para traçar uma marcação (ou medir a marcação entre dois pontos plotados na Carta), usa-se o meridiano mais próximo do ponto no qual a marcação foi determinada. Assim, no caso normal de obtenção da marcação de um ponto de terra, a partir de um navio, para traçar a marcação usa-se como referência o meridiano mais próximo da posição do navio (figura 41.6b).

Na utilização do plotador tipo “NAVY”, o seu centro é colocado sobre o meridiano de referência e a face sobre a linha a ser traçada ou medida, sendo o valor da direção lido no mesmo meridiano sobre o qual está o centro do plotador.

c. ADEQUABILIDADE DAS CARTAS NÁUTICAS DA REGIÃO ANTÁRTICA

As Cartas Náuticas da maioria das regiões polares são geralmente inferiores às das outras regiões, nos seguintes aspectos:

(1) Ausência de detalhes

As regiões polares não foram levantadas com o grau de rigor necessário para proporcionar cartas com o nível de detalhe a que estamos acostumados. São disponíveis apenas sondagens relativamente esparsas e muitos dos acidentes costeiros são representados somente por suas linhas gerais. Grandes áreas estão permanentemente cobertas por

gelo e apresentam uma aparência variável, conforme se alteram a quantidade, a posição e a característica da cobertura de gelo. Coberturas espessas de gelo e neve impedem a determinação precisa do contorno dos acidentes geográficos da terra que está por baixo. Além disso, ocorrem semelhanças entre áreas adjacentes, tanto em regiões acidentadas (com muitas reentrâncias e saliências similares), como em áreas extensas sem qualquer acidente notável. Esta falta de acidentes distintos dificulta a representação cartográfica e a identificação de pontos de terra.

Figura 41.6 a – Medida de Rumo na Carta Conforme de Lambert

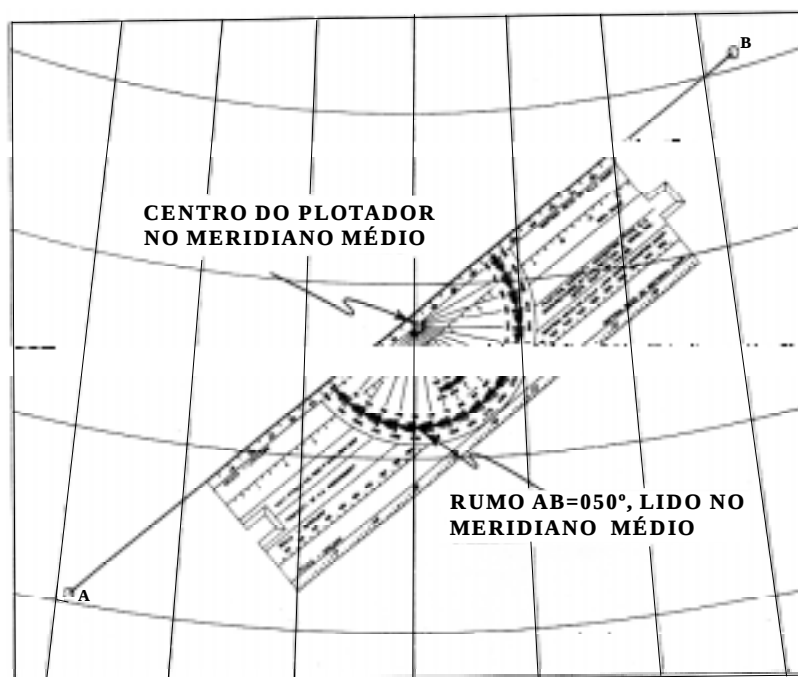


Figura 41.6 b – Medida de Marcação na Carta Conforme de Lambert



(2) Imprecisão

As Cartas Náuticas das regiões polares são baseadas em levantamentos incompletos e, por vezes, provêm de relatórios de expedições que estiveram nas áreas. Esses relatórios são menos confiáveis que os levantamentos sistemáticos de outras regiões; algumas vezes, grandes **icebergs** são erradamente tomados como ilhas; em outras ocasiões, ilhas cobertas por gelo são equivocadamente consideradas **icebergs** encalhados; a linha de costa não é fácil de identificar, quando a neve cobre uniformemente tanto a terra como o mar congelado adjacente. Nessa situação, enseadas e outras reentrâncias ou saliências da costa podem ser completamente obscurecidas por gelo e neve. Ademais, muitas vezes as posições dos acidentes informados não são exatas. Como consequência, muitos acidentes são imprecisamente representados, em posição, forma e dimensões, além de existirem numerosas omissões. As linhas isogônicas, também, são baseadas em informações incompletas, resultando em uma precisão degradada.

Em áreas menos exploradas, a linha de costa representada na carta pode ser imprecisa, ou, até mesmo, ser interrompida, por total falta de informações; a topografia representada também pode não ser confiável e as sondagens esparsas.

(3) Cobertura

Em comparação com outras áreas, são disponíveis relativamente poucas Cartas Náuticas das regiões polares e os limites e escalas de algumas dessas Cartas não são convenientes para determinadas operações. Assim, cartas de grande escala de algumas áreas são inexistentes.

Por essas razões, ao selecionar as Cartas Náuticas, na fase de planejamento de uma Operação Antártica, nunca se deve consultar apenas as cartas publicadas por um só país. Devem ser buscadas **todas** as cartas disponíveis, oriundas de diversas fontes, escolhendo as que forem mais convenientes, em termos de limites, escala, grau de detalhe e precisão.

Na área em que normalmente operamos, algumas vezes, por exemplo, ter-se-á que planejar a operação em uma Carta Geral inglesa, navegar inicialmente em uma Carta de Pequena Escala norte-americana, passar depois para uma carta argentina de escala maior, utilizar novamente uma carta inglesa de pequeno trecho, para, finalmente, passar para uma carta particular chilena. Todas as Cartas Náuticas existentes devem ser obtidas e comparadas; nenhuma fonte deve ser esquecida ou desprezada.

Durante a navegação deve-se lembrar sempre que, mesmo em lugares de freqüente trânsito, ainda há muitos perigos não cartografados na Antártica.

As Cartas Náuticas publicadas pela DHN para a Antártica constituem uma exceção às características das cartas polares acima citadas. Nossas cartas são precisas, detalhadas e provêm de levantamentos rigorosos, embora abranjam, ainda, uma área relativamente pequena.

41.3 DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO

41.3.1 AGULHAS NÁUTICAS

a. Agulha Magnética

A componente horizontal do campo magnético terrestre é a responsável pela orientação da Agulha Magnética. Seu valor é **máximo** no **equador magnético**, diminui à

medida que a Latitude magnética aumenta e torna-se nulo nos **pólos magnéticos**. Como os **pólos magnéticos** situam-se relativamente próximos dos **pólos geográficos**, o desempenho da Agulha Magnética fica prejudicado nas altas Latitudes, isto é, nas regiões polares.

A partir da Latitude de 60°, a Agulha Magnética deve ser mantida sob vigilância constante, pois sua confiabilidade torna-se algo errática e seus erros podem variar rapidamente. Devem ser feitas verificações freqüentes, por azimutes de astros ou qualquer outro método disponível. Um registro cuidadoso das comparações e observações efetuadas é útil na previsão da confiabilidade futura da Agulha.

Os **pólos magnéticos** da Terra se deslocam, participando das variações normais diurnas, anuais e seculares do campo magnético terrestre, assim como das variações erráticas causadas por tempestades magnéticas. Por causa dos movimentos dos pólos, eles são considerados mais como **áreas** do que propriamente como **pontos**. O movimento contínuo dos **pólos magnéticos** contribui para as grandes variações diurnas da declinação magnética nas altas Latitudes. Alterações de até 10° já foram observadas.

As medidas do campo magnético da Terra nas regiões polares não são freqüentes, nem numerosas. As **linhas isogônicas** nessas áreas aproximam-se umas das outras, resultando numa rápida mudança da declinação em curtas distâncias, em determinadas direções. Além disso, o traçado das isogônicas é imperfeito. Como resultado, a **declinação magnética** informada nas Cartas Náuticas das regiões polares não tem a mesma ordem de precisão que nos outros lugares. Além disso, várias anomalias magnéticas severas já foram localizadas nas áreas polares e outras, ainda desconhecidas, podem existir.

No que se refere aos **desvios** da Agulha, estes são afetados pelo decréscimo da intensidade horizontal e pelas tempestades magnéticas que ocorrem nas proximidades dos pólos magnéticos.

Qualquer influência magnética residual sobre a Agulha, que reste após a compensação (que raramente é perfeita), exerce um efeito muito maior à medida que a força que orienta a Agulha diminui. Não é raro que os **desvios residuais** aumentem de 10 a 20 vezes nas áreas polares.

Outro efeito da redução da intensidade horizontal do campo magnético terrestre, que orienta a agulha, é a maior influência dos erros devidos ao atrito. Isto, combinado com um aumento no período de oscilação, resulta numa grande morosidade da Agulha no seu retorno ao rumo correto após uma perturbação.

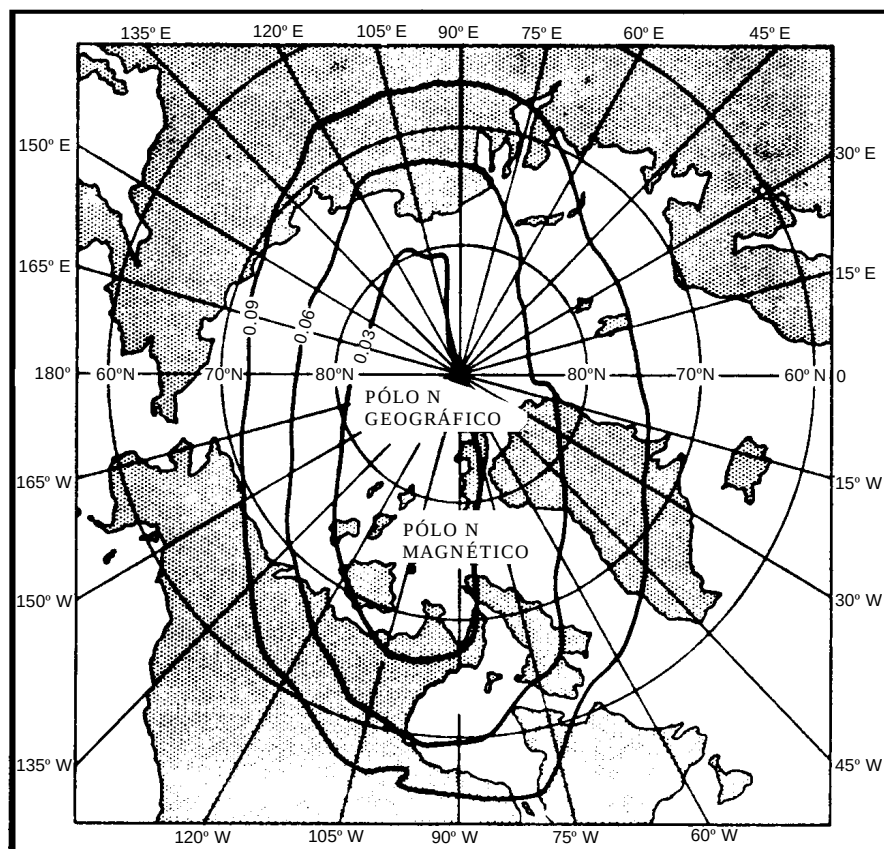
Por esta razão, a Agulha apresenta um melhor desempenho em mar calmo e livre de gelo, comparando com uma área infestada de gelo, onde o seu equilíbrio é freqüentemente perturbado pelo impacto do navio contra blocos de gelo.

Além disso, as tempestades magnéticas afetam tanto o magnetismo do navio como o campo magnético da Terra. Alterações de até 45° no desvio da Agulha já foram reportadas durante tempestades magnéticas severas, embora seja possível que tais variações exageradas possam ser uma combinação de mudanças no **desvio** e na **declinação magnética**.

Num sentido muito geral, a Agulha Magnética pode ser considerada de confiabilidade reduzida quando a intensidade horizontal do campo magnético terrestre é menor que 0,09 Oersted; errática quando a intensidade horizontal é menor que 0,06 Oersted e inútil quando o campo é menor que 0,03 Oersted. A extensão dessas áreas em torno do **pólo sul magnético** (localizado aproximadamente na Latitude 68° S, Longitude 139° E) é mostrada

na Carta nº 33 da NIMA (National Imagery and Mapping Agency). A extensão dessas áreas em torno do **pólo norte magnético** é mostrada na figura 41.7.

Figura 41.7 – Áreas onde uma Agulha Magnética é de Confiabilidade Reduzida, Errática e Inútil, no Ártico



Apesar da mistura água/álcool no líquido da Agulha Magnética, há perigo de congelamento quando a Agulha é submetida a temperaturas extremamente baixas. Uma medida que normalmente resolve este problema, provendo calor suficiente para evitar o congelamento do líquido, é manter a luz da Agulha permanentemente acesa.

Uma precaução importante é realizar a **compensação** ou, pelo menos, o **regulamento** da Agulha Magnética em uma Latitude elevada, já nas proximidades da região polar.

A despeito de suas várias limitações, a Agulha Magnética é um instrumento de grande valor na maior parte das regiões polares, onde a Agulha Giroscópica é, também, bastante afetada. Utilizada com cuidado, submetida a verificações frequentes e com um registro detalhado do comportamento prévio em situações semelhantes, o navegante pode obter bom proveito da Agulha Magnética nas altas Latitudes.

As **bússolas de fluxo magnético** (“flux gate compass”), um desenvolvimento recente das Agulhas Magnéticas, não se orientam pela intensidade horizontal do campo magnético terrestre. Ao invés da rosa circular com um conjunto de ímãs, apoiada no seu centro e livre de girar, existente nas agulhas convencionais, as **agulhas de fluxo magnético** utilizam um sensor eletrônico estacionário mantido coberto abaixo, alinhado com a quilha do navio (eixo longitudinal). Este sensor detecta as mudanças de direção do navio com relação ao campo magnético terrestre e envia informações (centenas de leituras por segundo) para um computador, que calcula continuamente as médias das leituras e

apresenta valores precisos e estáveis do rumo magnético. As **agulhas de fluxo magnético** sofrem menos os efeitos das altas latitudes, em comparação com as Agulhas Magnéticas convencionais.

b. Agulha Giroscópica

A **Agulha Giroscópica** depende, para sua operação, da rotação da Terra em torno do seu eixo. Sua força máxima de orientação ocorre no Equador, onde o eixo do giroscópio é paralelo ao eixo da Terra. À medida que a Latitude aumenta, o ângulo entre estes dois eixos cresce. Nos **pólos geográficos**, a **Agulha Giroscópica** não possui força diretiva.

A Agulha Giroscópica é, normalmente, confiável até a Latitude de 70°. Em Latitudes mais altas, os efeitos perturbadores de imperfeições na Agulha ou no seu ajuste tornam-se muito maiores. O ajuste de Latitude torna-se crítico. O erro de velocidade aumenta à medida que a velocidade do navio aproxima-se da velocidade tangencial da Terra. O erro de deflexão balística torna-se grande e a Agulha responde lentamente às forças de correção. As alterações freqüentes de rumo e velocidade, muitas vezes necessárias quando se navega em área com gelo, introduzem erros que só são corrigidos muito lentamente. O impacto do navio contra blocos de gelo deflete a Giro, que não retorna rapidamente à leitura correta.

O desvio aumenta e torna-se mais errático conforme o navio alcança Latitudes maiores. Em Latitudes de 75° a 80°, as Agulhas Giroscópicas, em sua maioria, apresentam grandes erros. Desvios de até 27° foram observados em Latitudes maiores que 82°. A Giro torna-se inútil na Latitude de cerca de 85° (que não é alcançada por navios na Antártica).

Assim, o desvio da Agulha Giroscópica deve ser freqüentemente determinado e monitorado em Latitudes de 70° ou maiores (a cada 4 horas, pelo menos), por meio de Azimute dos astros visíveis. Além disso, os ajustes de Latitude e velocidade devem ser feitos com o maior cuidado possível.

A maioria das Agulhas Giroscópicas não possui ajustagem para o corretor de Latitude acima de 70°. Além deste valor, a correção pode ser feita por dois métodos: ajustar os corretores de Latitude e de velocidade em **zero** e aplicar uma correção ao rumo, obtida de uma tábua ou diagrama fornecido pelo fabricante da Giro, ou usar uma ajustagem equivalente para Latitude e velocidade. Ambos os métodos são geralmente satisfatórios, embora o segundo seja considerado superior, porque corrige, pelo menos parcialmente, os erros introduzidos por mudanças de rumo.

41.3.2 RADAR

Nas regiões polares, onde condições de visibilidade restrita e longos períodos de escuridão reduzem a eficácia das observações visuais e da navegação astronômica, e onde outros auxílios à navegação não são geralmente disponíveis, o radar é de grande valor. Entretanto, o uso do radar em regiões polares apresenta certas limitações:

– Neve:

A queda de neve atenua as ondas radar, provocando redução do alcance de detecção.

Outro aspecto muito prejudicial da neve é que cobre todos os alvos, mascarando os ecos. Essa cobertura de neve deforma os alvos, que já não poderão ser identificados facilmente. Embora a onda radar penetre na neve, ela sofre muita atenuação

devido à absorção de energia pelos cristais de gelo e, assim, os ecos que retornam são fracos. O resultado desses dois fatores é uma apresentação indefinida dos alvos na tela do radar. Às vezes a queda de neve é detectada com um radar de 3 cm (banda X), mas não com um que opere na faixa de 10 cm (banda S).

– **Nevoeiro ou cerração:**

Nevoeiro é a presença em suspensão de minúsculas partículas de água ou de gelo junto à superfície. Mas, só quando estas partículas em suspensão diminuam a visibilidade para 1 quilômetro (0,54 milha náutica), é que o fenômeno tem o nome de nevoeiro. Se a visibilidade for maior que 1 quilômetro, o nome correto é neblina. Contudo, a bordo, também é comum a palavra cerração para ambos os fenômenos, falando-se em cerração leve, moderada ou cerração fechada.

O nevoeiro também não se faz apresentar na tela do radar, salvo em casos especiais de nevoeiros muito densos. Mas as gotículas de água ou de gelo em suspensão absorvem energia da onda, de maneira que o alcance radar fica reduzido. Um nevoeiro pesado, ou seja, aquele que restringe a visibilidade para 100 metros ou menos, reduz o alcance radar para 60% de seu alcance normal. Com radar de 3 cm poderão ser detectados bancos de nevoeiros pesados, de grande densidade.

Pode-se afirmar que, em qualquer tipo de precipitação, seja chuva, granizo ou neve, e mesmo no caso de nuvens, nevoeiro, neblina ou smog, um radar de 10 cm (banda S) será menos afetado que um de 3 cm (banda X).

– **Gelo:**

O radar pode ser de grande valia indicando a presença de gelo em baixa visibilidade ou período de escuridão. Porém, também pode produzir um falso sentimento de segurança, especialmente se suas limitações não forem apreciadas ou se não for usado adequadamente. Inúmeros exemplos têm sido coletados sobre formações de gelo que não puderam ser detectadas pelo radar, mas que eram suficientemente grandes para causar avarias em um navio.

Quando se navega nas proximidades de gelo, especialmente em condições de visibilidade restrita, recomenda-se empregar as escalas de 6 e 12 milhas, por serem as mais apropriadas para proporcionar alarme antecipado da presença deste perigo. Assim, ter-se-á tempo suficiente para tomar as ações evasivas correspondentes.

Devido ao fato de que os gelos detectados pelo radar podem desaparecer posteriormente da tela, pelos efeitos do retorno do mar, deve-se manter uma plotagem geográfica de seus ecos, o que, por sua vez, também pode ser útil para distinguir entre gelos flutuantes, encalhados ou presos à terra, e ecos provenientes de outros navios. Esta plotagem permitirá determinar um rumo seguro para navegar. Se um eco for classificado como um “berg”, deverá ser dado ao navio bastante espaço para manobrar, de maneira que se evitem quaisquer destroços que se tenham separado do bloco principal. Por outro lado, se os contactos são avaliados como “growlers” (rugidores), isto é, destroços flutuantes de gelo, isto significa que, provavelmente, em suas imediações existe um “iceberg”.

– **“Icebergs”:**

Os “icebergs” (blocos de gelo de água doce) geralmente são detectados pelo radar em distâncias que permitem tempo suficiente para ações evasivas. Essas distâncias dependerão de suas dimensões. Os “icebergs” do Ártico apresentam, em geral, superfícies cortadas e facetadas (são “icebergs” provenientes de geleiras ou glaciár), que proporcionam bons ecos de retorno. Os “icebergs” tabulares, comuns na Antártica, tendo tope plano

e paredes laterais quase verticais, que podem se elevar a mais de 30 metros acima da superfície do mar, também constituem bons alvos-radar, sendo normalmente detectados com tempo suficiente para manobrar a fim de deixá-los safos.

Grandes “icebergs” podem ser detectados em distâncias da ordem de 15 milhas com mar calmo, embora a intensidade de seus ecos seja somente 1/60 da intensidade dos ecos que seriam produzidos por um alvo de aço de tamanho equivalente. “Icebergs” menores são detectados a cerca de 6 a 12 milhas.

Os “icebergs” tendem a aparecer como ecos individuais no radar, podendo haver uma grande variação quanto ao aspecto e à intensidade desses ecos. Quando o retorno do mar está presente, um judicioso uso dos circuitos especiais de GANHO, “ANTI-CLUTTER RAIN” e “ANTI-CLUTTER SEA” poderá ajudar a reduzir a reverberação, de forma que os ecos possam ser acompanhados em pequenas distâncias.

– “Bergy Bits”:

“Bergy bits” são pedaços quebrados de “icebergs”, isto é, pedaços de gelo de glaciário (de origem terrestre) ou pedaços de **gelo marinho amontado** (“floeberg” ou “hummock ice”), aproximadamente do tamanho de uma casa, com **3 a 4** metros de altura. Os “bergy bits” normalmente não são detectados pelo radar a distâncias maiores que 3 milhas.

Devido a seus ecos relativamente fracos e que podem se perder no retorno do mar, essas formações de gelo representam um grande perigo à navegação.

– “Growlers” (Rugidores):

Os “growlers” (rugidores) são pedaços de gelo pequenos, menores que um “bergy bit”, com alturas de 0,6 a 1,8 m e que apenas sobressaem da superfície do mar. Normalmente têm coloração esverdeada ou são escuros, razão pela qual dificilmente são avistados. Sua altura sobre a água, em geral, é menor que 1 m, mas ocultam por baixo da superfície várias toneladas de gelo sumamente duro. É o pior inimigo dos navegantes dos mares antárticos, sendo de difícil detecção pelo radar. Geralmente, são pedaços de “icebergs” ou de gelo terrestre provenientes de um glaciário e crepitam (rugem) com frequência.

Os “growlers” são reconhecidos como as formações de gelo mais perigosas que podem ser encontradas. São muito difíceis de se detectar no radar, principalmente quando têm pequena altura e quando a ação das ondas os tenham moldado de uma forma arredondada e lisa. Estes tipos de gelo aparecem mais nas proximidades dos grandes “icebergs” que em qualquer outra área. Tem sido observado que menos da metade dos “growlers” que se avistam são efetivamente detectados pelo radar, e que todas as detecções são obtidas fora da região de reverberação do mar, ou em águas calmas. Um judicioso uso dos controles “ANTI-CLUTTER”, LARGURA DE PULSO e GANHO pode ajudar a detecção e o acompanhamento dos mesmos. Com mar agitado e com um retorno do mar que se estenda até mais de 1 milha do próprio navio na tela do radar, estes derrelitos podem produzir avarias graves no navio. Com mar calmo, os “growlers” podem ser detectados pelo radar a cerca de 2 milhas.

– Flocos de gelo (“ice floes”):

Os flocos de gelo (“ice floes”), formados pelo congelamento de água salgada, são, em geral, muito baixos (altura máxima de 2 metros) e constituem um alvo radar extremamente ruim, sendo de difícil detecção, principalmente com mar agitado, quando o “clutter” do mar pode mascarar por completo ecos de pedaços de gelo perigosos à navegação. Com mar calmo, esse tipo de gelo normalmente não é detectado em distâncias maiores que

2 milhas. Assim, embora o radar constitua um auxílio muito importante para a navegação em presença de gelo (para a detecção de “icebergs” e blocos de gelo de maiores dimensões), a busca radar deve ser complementada por uma vigilância visual constante, pois esta é insubstituível para a detecção de flocos de gelo e “growlers” perigosos à navegação.

– **Campos de gelo (“field ice” ou “pack ice”):**

Com o “field ice” ou “pack ice” a apresentação do radar é semelhante à de uma tela com reverberação do mar, porém estacionária, e qualquer grande área de água livre, tal qual uma rota ou passagem, pode ser distinguida. É oportuno notar que massas de gelo flutuante cobertas de neve não produzirão ecos tão bons quanto aquelas cobertas com uma forte capa de gelo.

Além disso, quando usando o radar em áreas polares deve ser lembrado que a aparência da linha de costa pode ser totalmente alterada devido à espessa cobertura de gelo e neve, à presença de “icebergs” encalhados na costa, ou gelo preso à terra (“fast ice”). Quando um grande campo de gelo (“pack ice”) estende-se para o largo a partir do litoral, a localização da linha de costa pelo radar é extremamente difícil. Ademais, a falta de detalhes precisos nas Cartas Náuticas das regiões polares dificulta a identificação de acidentes e pontos a serem utilizados para determinação da posição.

Tal como ocorre com as marcações visuais, as marcações radar obtidas nas regiões polares necessitam de correção para a convergência dos meridianos, exceto quando os objetos observados estão muito próximos do navio.

Há navios (especialmente os quebra-gelos) que, além dos **radares de pulsos** normalmente utilizados em navegação, possuem também um **radar doppler** (do tipo empregado em vigilância rodoviária) para determinar a velocidade relativa de aproximação de “icebergs” e outros blocos de gelo.

41.3.3 ECOBATÍMETRO

O ecobatímetro é extremamente útil e deve ser operado continuamente nas altas Latitudes. As sondagens são tão importantes nas regiões polares que um ecobatímetro operando permanentemente torna-se indispensável para a segurança da navegação.

É de boa prática dispor de pelo menos dois ecobatímetros, do tipo equipado com registrador e tendo uma grande flexibilidade de alcance. Como vimos, poucas partes das áreas polares apresentam sondagens suficientes para permitir uma navegação segura e uma adequada representação da configuração do fundo nas Cartas Náuticas. Assim, uma vigilância constante da indicação do ecobatímetro é imprescindível, para assinalar a presença de perigos e altos fundos não cartografados.

Se um navio ficar preso, perdendo o governo e passando a derivar com o gelo, pode surgir o perigo de encalhe, se o gelo mover-se em direção a águas rasas. Assim, mesmo com o navio aprisionado, é importante manter o ecobatímetro operando.

41.3.4 SISTEMAS ELETRÔNICOS DE NAVEGAÇÃO

a. Radiogoniômetro

O radiogoniômetro é útil, embora existam poucos Radiofaróis na Antártica. Um dos principais usos do **Radiogoniômetro** nas regiões polares é no auxílio à localização de outros navios, para “rendez-vous”, salvamento ou outros propósitos. Isto é particularmente verdadeiro numa área com muitos “icebergs”, onde pode ser difícil distinguir no

radar entre ecos de navios e de blocos de gelo. O “homing” com o radiogoniômetro constitui, assim, uma técnica de grande utilidade nas áreas polares.

b. Sistemas de Navegação por Satélite

O Sistema de Posicionamento Global por Satélite (NAVSTAR/GPS – “NAVIGATION SYSTEM BY TIME AND RANGING/GLOBAL POSITIONING SYSTEM”) provê uma cobertura e uma precisão excelentes nas regiões polares.

c. Sistema de Navegação Inercial

Os modelos iniciais do SINS (“SHIP’S INERTIAL NAVIGATION SYSTEM”) tinham alguma limitação para operar em Latitudes muito elevadas. Apesar da indicação de Latitudes não ser afetada nas regiões polares, o erro de rumo (e de Longitude) do SINS, que varia com a secante da Latitude, começava a crescer muito, quando acima da Latitude de 75°, tornando-se progressivamente maior conforme a Latitude aumentava, até que atingia um limite quando a quantidade de torque requerida para aplicação no sistema giroscópico tornava-se excessivamente grande. No entanto, os modelos atuais do SINS têm completa capacidade de operação nas regiões polares.

41.3.5 OUTROS SISTEMAS

Sonar

Os navios que possuem **Sonar** podem utilizá-lo na detecção de gelo, principalmente “growlers”. Como até 7/8 do gelo pode estar submerso, sua presença pode, por vezes, ser detectada pelo sonar, mesmo quando não indicada pelo radar ou observação visual.

41.3.6 PRECAUÇÃO ESPECIAL COM AS ANTENAS

Todas as antenas dos equipamentos e sistemas eletrônicos de navegação, assim como as antenas dos equipamentos de comunicações, devem ser preparadas para mau tempo e clima frio.

Antes da viagem, as antenas, suas bases e seus suportes devem ser cuidadosamente inspecionados, verificando-se a existência de pontos de corrosão ou desgaste. Não é raro ocorrer, nas condições de vento forte, mar agitado e tempo inclemente da Antártica, a queda e avaria de antenas de equipamentos vitais.

41.3.7 OBSERVAÇÕES VISUAIS

a. Introdução

As **marcações** visuais são úteis na Antártica, mas têm limitações. Quando são marcados mais de dois objetos, as marcações podem não se cruzar em um ponto, pois os objetos visados podem não estar corretamente representados na carta (na posição relativa correta entre eles). Até mesmo uma posição resultante de um bom cruzamento de marcações pode apresentar um erro considerável nas suas coordenadas geográficas, se todos os objetos marcados estão representados na carta na relação correta entre eles, mas com erro nas suas coordenadas. Entretanto, em águas restritas é, normalmente, mais importante conhecer a posição do navio em relação aos acidentes e perigos vizinhos, do que, realmente, os valores corretos de sua Latitude e Longitude.

Quando se determinar uma posição com relação a pontos de terra próximos, é de boa prática usá-la para auxiliar na identificação e localização de algum ponto notável

situado a distância considerável avante, de modo que tal ponto possa, por sua vez, ser usado na determinação de posições futuras.

Em regiões polares, não é raro obter marcações de objetos situados a distâncias consideráveis do navio. Por causa da rápida convergência dos meridianos nessas áreas, tais marcações não podem ser corretamente representadas por linhas retas em uma Carta de Mercator, devendo ser corrigidas da mesma maneira que as marcações radiogoniométricas, para transformar um arco de círculo máximo (ortodromia) em uma loxodromia (para traçado na Carta Náutica). Quando a carta é construída na Projeção Conforme de Lambert ou na Projeção Polar Estereográfica, não é necessária qualquer correção, pois os círculos máximos são representados por linhas retas.

b. Fatores que Afetam as Observações Visuais na Antártica

As observações visuais na Antártica são afetadas por **fenômenos óticos** causados por **refração**, **difração** e **reflexão** da luz.

Quase não existem poeiras ou partículas sólidas em suspensão no ar da Antártica e os ventos predominantes soprando do continente gelado têm pequeno teor de umidade. Como consequência, a visibilidade é, normalmente, muito boa, às vezes excepcional, um fato que, se não apreciado corretamente, pode conduzir o observador a sérios erros quando estimando distâncias. Um objeto julgado estar a 5 milhas de distância pode estar, na realidade, a 30 milhas. Montanhas já foram avistadas a 300 milhas.

A **refração** (curvatura dos raios luminosos na sua trajetória através da atmosfera) está relacionada a vários fenômenos óticos na Antártica. Sempre que o ar frio da superfície é superposto por uma inversão de temperatura pronunciada na clara atmosfera antártica, a curvatura para baixo dos raios luminosos se acentua e o contorno de objetos distantes é alterado pela **refração**, observando-se os seguintes fenômenos:

- **Elevação** (“looming”): objetos parecem ser elevados acima de sua posição verdadeira, aparentando estar mais próximos do observador. Objetos abaixo do horizonte são elevados, tornando-se visíveis, com uma forma distorcida e exagerada;

- **Agigantamento** (“towering”): quando, em acréscimo à elevação, há um alongamento vertical da imagem;

- **Miragem superior** (“superior mirage”): ocorre quando aparece sobre um objeto uma **imagem invertida**, como se fosse refletida do céu. Sob condições ideais de refração, uma segunda **imagem direta** é, também, visível. Se o **objeto** e a **imagem invertida** estão além do horizonte, a segunda **imagem direta** pode ser a única porção visível, aumentando muito a distância de detecção visual. As condições estáveis necessárias para formação de **miragem superior** o são também para formação de nevoeiros no mar;

- **Fata Morgana** (“fata morgana”): uma miragem complexa, devida aos efeitos da **refração**, que é caracterizada por distorções múltiplas de imagem, geralmente na vertical, de modo que objetos como penhascos e “icebergs” são distorcidos e ampliados, aparecendo como pináculos ou castelos de altura fantástica. Uma estratificação em densidade do ar muito característica é requerida para produzir este fenômeno, especialmente a ocorrência conjunta, em camadas verticalmente adjacentes, de gradientes de densidade que produziriam miragem superior e inferior. Uma forte inversão de temperatura sobre um mar relativamente mais quente pode satisfazer este requisito.

- **Miragem inferior**: outro fenômeno ótico associado com a refração produz-se na Antártica quando o ar mais quente e menos denso (em geral associado a correntes marítimas que fluem de áreas menos frias, isto é, de Latitudes mais baixas) permanece na superfície, sob ar mais frio e denso. Nesse caso, a trajetória dos raios luminosos é encurvada

para cima, afastando-se da superfície. Ocorre, então, **miragem inferior**, isto é, objetos próximos parecem afundar, parcial ou totalmente, abaixo do horizonte. Isto pode levar o observador a superestimar a distância a objetos próximos. O fenômeno é freqüentemente acompanhado de uma névoa seca ou neblina e do obscurecimento do contorno de objetos distantes.

Os seguintes fenômenos óticos estão associados com a **reflexão** dos raios luminosos na **região antártica**:

- **Resplendor de Gelo** (“iceblink”): é um clarão branco ou branco-amarelado projetado no lado de baixo das nuvens por concentrações consideráveis de **gelo marinho**;

- **Céu de Água** (“water sky”): reflexos escuros de água livre de gelo na parte de baixo das nuvens de um céu nublado; e

- **Mapa do Céu** (“sky map”): padrão formado pelos reflexos nas nuvens dos **campos de gelo** e das **águas livres de gelo**.

Assim, o **céu de água** (“water sky”) pode auxiliar o navegante a descobrir, em **campos de gelo** (“pack ice”), as áreas livres a serem aproveitadas para navegação.

Quando a luz do dia é difundida por múltiplas reflexões entre campos de gelo ou neve e um céu coberto de nuvens, ocorre uma condição denominada **branco total antártico** (“antarctic whiteout”). Embora a visibilidade possa ser boa, a percepção de profundidade é grandemente prejudicada. Objetos brancos confundem-se no pano de fundo claro, de modo que não são percebidos. As nuvens cerradas impedem contrastes e o horizonte torna-se impossível de distinguir.

Ademais, a presença freqüente de nuvens e neblina de cristais de gelo dá origem a complexos fenômenos de **halo**, entre os quais as **colunas solares**, **arcos tangenciais**, **parélio (falso Sol)** e outros círculos e arcos, assim como o halo comum de 22°.

Além dos fenômenos óticos, as observações visuais na Antártica também são afetadas por fenômenos eletromagnéticos, como a **Aurora Australis** e o **Fogo-de-santelmo**.

- **Aurora Australis**: fenômeno luminoso resultante de emissão irradiante esporádica da atmosfera superior, que ocorre nas altas Latitudes do Hemisfério Sul. A luz da **Aurora Australis** é, muitas vezes, bastante brilhante, excedendo, em determinadas ocasiões, à da Lua cheia. A **zona auroral** (zona de máxima atividade auroral) na Antártica situa-se a cerca de 23° do **pólo geomagnético sul**.

- **Fogo-de-santelmo**: outro fenômeno eletromagnético, que parece criar luz em torno de objetos e acidentes geográficos. O fogo-de-santelmo é um fenômeno que ocorre quando o campo elétrico nas proximidades de um objeto elevado (mastro de navio, pico de montanha, etc.) começa a acumular cargas elétricas na superfície desses objetos. Sua coloração é esverdeada e, ao desaparecer, provoca forte relâmpago e ruído intenso.

41.4 MÉTODOS DE NAVEGAÇÃO NA REGIÃO ANTÁRTICA

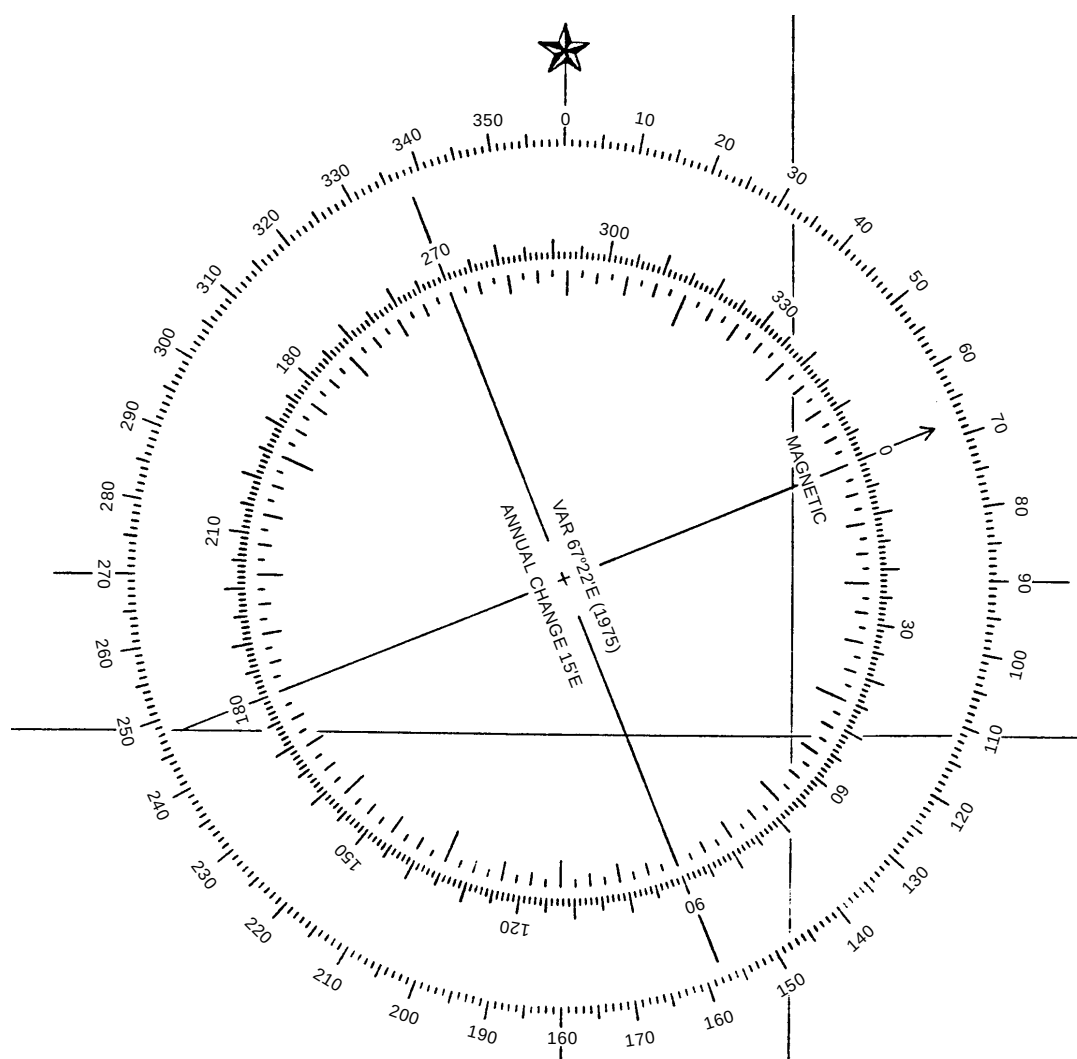
41.4.1 NAVEGAÇÃO ESTIMADA EM ÁREAS POLARES

Em áreas polares, como nas demais regiões, a Navegação Estimada envolve a medida de **direção e distância navegada** e o uso dessas informações para determinação da posição do navio, a partir de uma posição inicial conhecida.

O maior problema para a navegação polar é a manutenção de uma direção. A direção (**rumo**) é normalmente determinada por uma Agulha Náutica. Entretanto, conforme vimos, nas regiões polares tanto a Agulha Magnética como a Agulha Giroscópica estão sujeitas a limitações não encontradas em outras áreas.

A Agulha Magnética sofre sérias limitações nas altas Latitudes, onde a componente horizontal do magnetismo terrestre é muito fraca, ficando a agulha sem força orientadora. Além disso, a declinação magnética não é perfeitamente conhecida nas regiões polares, nas quais desvios residuais também tendem a aumentar muito. Alterações de até 45° no erro da agulha (combinação de mudanças no desvio e na declinação magnética) já foram observadas por ocasião de tempestades magnéticas, que são freqüentes. Mesmo se todas essas dificuldades pudessem ser removidas, a rápida convergência das linhas isogônicas e o valor exagerado da declinação magnética impediriam a Agulha Magnética de ser usada normalmente para manter a direção nas regiões polares. A figura 41.8, por exemplo, mostra uma **rosa de rumos** representada na Carta Náutica norte-americana nº 29.282 – SCOTT ISLAND AND APPROACHES (escala 1:100.000), onde se verifica que o valor da **declinação magnética é 67° 22' E (1975)**. Com um valor desta ordem para a **declinação magnética**, fica inviável o uso da bússola para manter o rumo desejado.

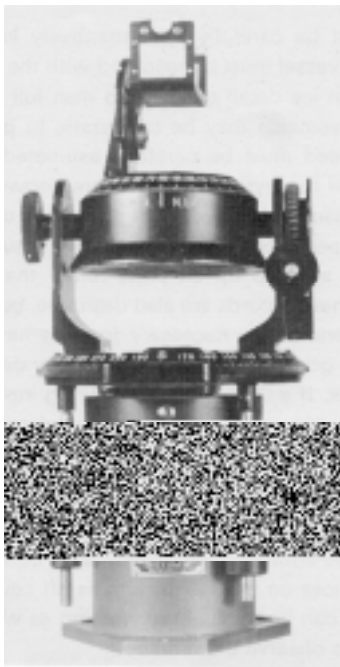
Figura 41.8 – Extrato da Carta N° 29282 NIMA, “SCOTT ISLAND AND APPROACHES”



A força de orientação da Agulha Giroscópica também se enfraquece à medida que o navio se aproxima dos pólos geográficos. Qualquer sistema giroscópico terá sua precisão degradada em altas Latitudes. Por esta razão, é necessário efetuar observações quase contínuas do **desvio da giro**, por meio de Azimute de astros, normalmente o Sol.

Algumas Agulhas Giroscópicas modernas, como a MK-19, têm um modo de operação denominado **giro direcional** (“directional gyro”), para navegação em Latitudes muito elevadas, nas proximidades dos pólos. No modo de operação normal, a agulha busca o meridiano geográfico, isto é, aponta para o norte verdadeiro. Quando se passa para **giro direcional**, a agulha atua como um simples giroscópio, apontando para uma direção fixa, paralela ao meridiano em que está no instante de entrada no modo de operação direcional. Então, basta colocar o navio no rumo ortodrômico desejado, selecionar na Agulha Giroscópica o modo de operação direcional e seguir este rumo até o destino.

Figura 41.9 – “ASTRO COMPASS” (Agulha Astronômica)



Outro método para seguir uma direção nas Latitudes muito altas é montando uma **Agulha Astronômica**, ou “**astro compass**” (figura 41.9), na linha de centro do navio, orientada no sentido proa–popa (se montada lateralmente à linha de centro, coloque a linha-de-fé do instrumento paralela ao plano longitudinal do navio). O “astro compass” resolve mecanicamente o triângulo de posição, fornecendo a orientação pela observação de um astro. O “astro compass” pode ser usado com o Sol ou com qualquer outro astro, servindo também para verificação do desvio da giro nas regiões polares. Este instrumento não tem sido muito empregado a bordo de navios por causa da dificuldade de mantê-lo nivelado durante uma observação.

Em face da rápida convergência dos meridianos nas proximidades dos pólos, a navegação loxodrômica torna-se impraticável, mesmo para pequenas distâncias, porque diverge muito da navegação pelo círculo máximo e porque as loxodrômicas são representadas por curvas nas cartas usadas nas áreas polares. Nas regiões polares não é satisfatório seguir uma série de loxodromias para se chegar aproximadamente à navegação ortodrômica. O arco de círculo máximo (representado por uma linha reta traçada numa carta polar, para todos os efeitos práticos da navegação) deve ser seguido diretamente.

Velocidades ou **distâncias percorridas** são normalmente medidas por um odômetro ou pelo contador de RPM das máquinas (pelo uso da tabela RPM X velocidades). Estes métodos, entretanto, podem não ser convenientes quando o navio opera em presença de gelo. O odômetro de fundo, por exemplo, pode ter que ser içado, para que sua haste não sofra avarias decorrentes de choques com blocos de gelo, complicando ainda mais os problemas da Navegação Estimada. Além disso, dados sobre correntes oceânicas e correntes de maré nas regiões polares são escassos, e a presença de gelo representa uma complicação adicional para estimar o rumo e a distância navegada.

Assim, a Navegação Estimada em áreas polares deve ser sempre monitorada, se possível por acompanhamento visual ou radar. Entretanto, mesmo com essas limitações, uma plotagem estimada deve ser continuamente mantida, em especial quando navegando em áreas de gelo.

41.4.2 NAVEGAÇÃO COSTEIRA EM ALTAS LATITUDES

A Navegação Costeira é o principal método de navegação nas regiões polares. O conceito de Navegação Costeira, como sabemos, está associado à proximidade de terra e de perigos à navegação. Na Antártica um navio raramente está longe de terra ou de perigos à navegação e, ademais, em geral cruza áreas imprecisamente levantadas e mapeadas, de modo que o navegante tem sempre dúvidas sobre a presença de perigos não cartografados. Assim, a navegação nessa área requer uma vigilância constante e um estado de alerta permanente, só encontrados na navegação costeira e em águas restritas.

Pontos naturais notáveis à navegação são abundantes em algumas regiões polares, mas sua utilidade é, às vezes, restrita, pela dificuldade de identificá-los ou correlacioná-los com sua representação na Carta. Na Antártica, os **NUNATAKS** (picos rochosos, isolados e nus, que se erguem sobre os mantos de gelo e neve que os rodeiam, tão íngremes que não ficam cobertos por gelo ou neve) constituem pontos notáveis importantíssimos para a navegação visual.

Conforme vimos, as Cartas Náuticas da Antártica são quase todas derivadas de sondagens exploratórias. Poucas são resultados de levantamentos sistemáticos, não se podendo garantir a precisão das profundidades dentro da isóbata de 200 metros. Assim, o uso contínuo do ecobatímetro é essencial. Extrema precaução deve ser observada nos trechos onde a isóbata está interrompida, indicando insuficiência de sondagens.

Uma atenção permanente às indicações do ecobatímetro deve ser mantida, para evitar perigos desconhecidos. Se uma área de segurança duvidosa tem que ser investida, é de boa prática enviar adiante uma lancha dotada de ecobatímetro, para explorar a região.

Informações úteis sobre profundidades nas vizinhanças do navio podem, algumas vezes, ser obtidas pela observação do gelo. Uma corrente de flocos de gelo movendo-se mais rápida que o gelo que a cerca, ou uma extensão de águas livres no “**pack ice**”, muitas vezes marcam o canal profundo através de águas rasas. Flocos ou blocos de gelo estacionários, no meio de gelo que se move, podem estar marcando um banco.

Conhecimento das formações geomorfológicas também pode ser útil. O gradiente de terra freqüentemente proporciona uma indicação do gradiente submerso. Águas rasas são comuns ao largo de ilhas e pontas baixas, mas raras nas proximidades de uma costa alta e abrupta. Por outro lado, pedras submersas são mais prováveis de serem encontradas ao largo de uma costa rochosa e acidentada, do que nas vizinhanças de uma praia baixa. Onde ocorre glaciação, podem surgir bancos ao largo, formados por depósitos de material carreado.

Desta forma, a **navegação costeira** na Antártica exige precauções especiais, requerendo observações constantes dos instrumentos e uma interpretação cuidadosa do meio ambiente nas proximidades do navio.

Uma boa providência é manter as portas externas do passadiço abertas. Embora isto possa trazer algum desconforto, obrigando o pessoal de serviço a manter-se agasalhado,

com as portas abertas o Oficial de Quarto e seus auxiliares não relutarão em sair para as áreas externas do passadiço, a fim de observarem a deriva de blocos de gelo, tomarem

Uma notável diferença da Navegação Astronômica praticada nas regiões polares, com relação à executada em outras Latitudes, refere-se à noção de **tempo**, sobre a qual se baseia este tipo de navegação. Em capítulos anteriores, a importância da **hora** para as observações astronômicas foi enfatizada, pois cada 4 segundos de erro no cronômetro de navegação pode introduzir um erro de até 1' de Longitude na LDP. No **equador**, isto corresponde a 1 milha; na Latitude de 60°, corresponde a 0,5 milha; e, na Latitude de 88°, a apenas 0,035 milha. Assim, nesta Latitude, um erro de 2 minutos no cronômetro introduziria na LDP um erro máximo de cerca de 1 milha. Isto é, a máxima variação de altura de um astro, num ponto de observação fixo, é de 1 minuto de arco em 2 minutos de tempo.

Então, verifica-se que nas regiões polares o conceito de **tempo**, ou seja, de **hora precisa**, é menos importante para a Navegação Astronômica que em outras Latitudes. Ademais, como os **fusos horários** perdem seu significado nas proximidades dos pólos, costuma-se manter, nas estações científicas na Antártica, a HMG ou a Hora Legal dos respectivos países.

Outras peculiaridades da Navegação Astronômica em regiões polares são:

a. Observações de Alturas

As melhores posições astronômicas são normalmente obtidas por observações de estrelas nos crepúsculos. À medida que a Latitude aumenta os crepúsculos tornam-se mais longos, proporcionando maior tempo para as observações. Entretanto, com este aumento surgem períodos prolongados nos quais o Sol permanece logo abaixo do horizonte e as estrelas ainda não são visíveis. Durante estes períodos, que nos pólos duram vários dias, observações com o sextante não podem ser efetuadas. Com prática, contudo, as estrelas mais brilhantes podem ser observadas quando o Sol está 2° ou 3° abaixo do horizonte. Ademais, durante estes períodos crepusculares a Lua algumas vezes está acima do horizonte e planetas brilhantes, notadamente Vênus e Júpiter, também podem estar visíveis.

Além do **círculo polar**, o Sol permanece acima do horizonte, sem se pôr, durante parte do verão. A duração desse período aumenta com a Latitude. Durante o período de luz do dia contínua, o Sol desloca-se no céu, alterando seu Azimute cerca de 15° em cada hora. Observações cuidadosas do Sol (ou, melhor ainda, a média de várias observações) a cada 2 horas proporcionam uma série de posições astronômicas de grande utilidade.

Durante a longa noite polar, o Sol não está disponível e o horizonte é, muitas vezes, indistinto. Ainda assim, o extenso período de crepúsculo, uma aurora brilhante e outras fontes de luz polar encurtam o período de escuridão. Ademais, pela adaptação de seus olhos à escuridão, os navegantes experientes conseguem divisar o horizonte e fazer observações de altura com precisão razoável através da noite polar. A Lua Cheia no inverno polar permanece acima do horizonte mais da metade do tempo e alcança alturas maiores que em outras estações, podendo também ser usada para observação.

Além do longo período de escuridão em altas Latitudes, outras condições algumas vezes presentes complicam o problema de definir o horizonte. Durante a luz do dia, o horizonte é freqüentemente obscurecido por cerração baixa, fumaça congelada ("frost smoke") ou queda de neve, embora o Sol possa estar claramente visível. Em outras ocasiões, o próprio gelo amontado no mar impede a definição do horizonte, especialmente para baixas elevações do olho. Ademais, condições extremas de refração anormal não são raras em altas Latitudes, produzindo falsos horizontes e afetando as correções de **refração e depressão do horizonte**, o que reduz a precisão das alturas medidas. Por isso, é recomendável dispor de um **Sextante de Bolha** (com horizonte artificial) nas **regiões polares**.

Na aplicação da correção à altura observada para a depressão do horizonte, deve-se usar a altura do olho do observador acima do gelo no horizonte, em vez da altura sobre a água. A diferença entre os níveis do gelo e da água no horizonte pode ser estimada pela observação da altura do gelo nas proximidades do navio.

Na execução da Navegação Astronômica em regiões polares, é muitas vezes necessário observar astros em baixa altura, o que é normalmente evitado em outras regiões. A utilização de astros em baixas alturas requer cuidados especiais, não só na observação como também na correção das alturas obtidas.

Além disso, a todas as alturas observadas deve ser aplicada a **correção adicional** para **temperatura e pressão**.

Como precaução suplementar, o navegante deve estar sempre atento às condições anormais da refração anteriormente mencionadas, que podem causar erros inaceitáveis nas linhas de posição astronômica.

Se possível, o navegante deve procurar visar várias estrelas, bem distribuídas em Azimute, para minimizar os efeitos dos erros sistemáticos devidos à refração anormal. Deve-se, também, dar preferência às estrelas de maior altura, pois elas são menos afetadas por refração anormal.

b. Cálculo da LDP (Linha de Posição) e Plotagem da Posição Astronômica

O cálculo da LDP astronômica nas regiões polares é virtualmente igual ao realizado em outras áreas.

A plotagem de uma LDP astronômica obtida nas regiões polares é, também, igual à efetuada em outras Latitudes, usando uma **posição assumida** (posição estimada), uma **diferença de altura (Da)** e um **Azimute calculado (Az)**. Se for utilizada uma Carta de Mercator para plotagem da LDP, os erros introduzidos pelo emprego de loxodromias para traçado do **Azimute** (um círculo máximo) e da **LDP** (um círculo menor) são acentuados. Isto pode ser superado pela utilização de uma carta ou folha de plotagem em uma projeção mais favorável (como, por exemplo, a Conforme de Lambert, a Estereográfica ou a Transversa de Mercator).

A figura 41.11 mostra a plotagem de uma posição astronômica em uma Carta de Mercator, pela interseção de uma LDP do Sol e uma LDP da Lua. As linhas pontilhadas mostram o traçado dos **Azimuthes** e das **retas de altura** do modo normal (empregando **loxodromias**). As linhas cheias representam o traçado correto ortodrômico, que deveria ser usado. Pode-se verificar na figura o erro na posição obtida. Na figura 41.12 a mesma posição aparece plotada em uma carta na Projeção Transversa de Mercator. Note que tanto os **Azimuthes** como as **retas de altura** são traçados como linhas retas.

Numa **posição astronômica** obtida por **LDP sucessivas**, o **transporte da LDP** deve ser feito com muito cuidado, em virtude dos problemas, já mencionados, de determinação de direção e distância navegada nas regiões polares. Por causa dos vários erros possíveis, não se deve transportar uma LDP por período maior que 2 horas.

Um método especial de bastante interesse para cálculo e plotagem da LDP astronômica é aplicável quando nos encontramos dentro de 5° do **pólo geográfico**, uma Latitude impossível de ser alcançada por um navio na Antártica. Este método consiste em utilizar o **pólo** como posição assumida (ou posição estimada). Conforme vimos, no **pólo geográfico** o Zênite do observador e o **pólo celeste** coincidem, bem como o **equador** e o

horizonte celeste. Assim, os sistemas de coordenadas baseados nesses dois círculos máximos da Esfera Celeste também coincidem. Desta forma, a **Declinação do astro** é igual à **altura calculada (ae)** e seu **AHG** (Ângulo Horário em Greenwich) igual ao **Azimute**. Então, é possível calcular a **diferença de altura (Da)** e plotar a LDP.

Figura 41.11 – Plotagem da Posição Astronômica em uma Carta de Mercator

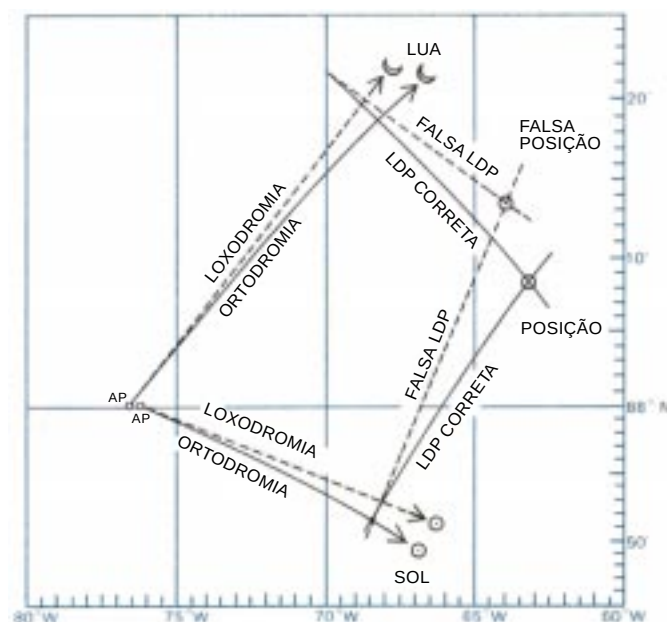
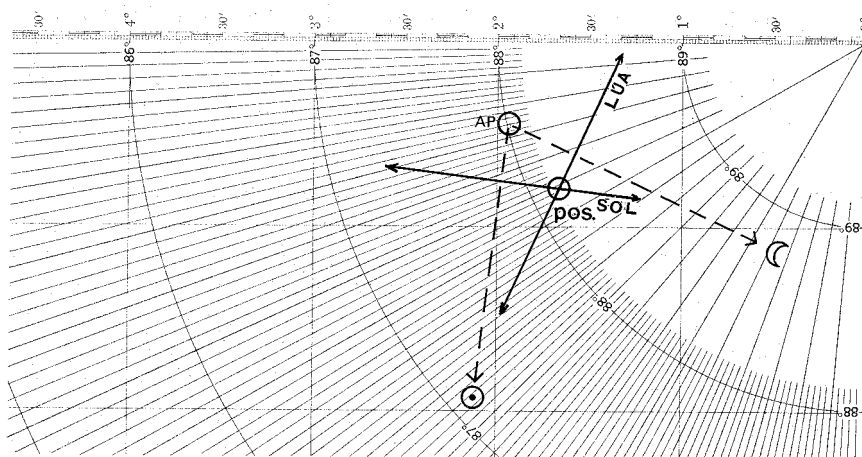


Figura 41.12 – Plotagem da Posição em uma Carta na Projeção Transversa de Mercator



Neste caso, para plotagem da LDP pode ser usada uma Rosa de Manobra, onde a **posição assumida** (ou posição estimada), isto é, o **pólo geográfico**, será o centro da rosa. Uma **diferença de altura (Da)** positiva será plotada ao longo do meridiano superior do astro. Uma **diferença de altura** negativa será plotada na direção oposta, ou seja, sobre o meridiano inferior do astro.

Então, a **altura calculada** (igual à Declinação do astro) e o **Azimute Verdadeiro** (igual ao AHG, ou Longitude do astro) poderão ser calculados pelo Almanaque Náutico.

Na realidade, no **pólo Sul** todas as direções são **norte** e, assim, o Azimute não tem significado. As linhas que se irradiam do pólo, de modo semelhante às linhas de Azimute em Latitudes moderadas, são meridianos. Portanto, em lugar do Azimute, utiliza-se o **AHG**, pois este indica qual a “direção” (Longitude) em que está o astro, a partir do pólo.

Para plotar um **reta de altura** por este método, entre no Almanaque Náutico com a HMG da observação e calcule a **Declinação** e o **AHG** do astro. Usando a Declinação como **altura calculada (ae)** compare-a com a **altura verdadeira (a)** e determine a **diferença de altura** ($D_a = a - ae$). Se $D_a > 0$, plote a **diferença de altura**, a partir do **pólo** (centro da Rosa de Manobra), sobre o meridiano indicado pelo AHG. Se $D_a < 0$, a **diferença de altura** deve ser medida sobre o meridiano 180° defasado do meridiano indicado pelo AHG. A partir do **ponto determinativo** assim encontrado, a **reta de altura** deve ser traçada na perpendicular ao meridiano. Para Latitudes muito elevadas ($j \approx 87,5^\circ$) e para astros com alturas relativamente pequenas (como o Sol, Lua e planetas) o método apresenta boa precisão, especialmente quando o navio está próximo do meridiano do ponto subastral (posição geográfica-GP) do astro, ou sua recíproca.

EXEMPLOS:

1. No dia 09 de setembro de 1993, na posição estimada Latitude $87^\circ 40' N$, Longitude $099^\circ 20' E$, foram obtidas as seguintes alturas (com um sextante náutico normal):

HMG	ASTRO	ALTURA INSTRUMENTAL
$10^h 05^m 21^s$	SOL (LIMBO INFERIOR)	$05^\circ 59,2'$
$10^h 11^m 30^s$	LUA (LIMBO INFERIOR)	$18^\circ 47,1'$

Dados adicionais:

- Elevação do olho do observador: 6,0 metros
- Espessura do gelo: 1,0 metro (acima da superfície do mar)
- Rumo e velocidade: navio parado
- Temperatura: $-10^\circ C$; Pressão: 990 mb
- Erro instrumental: $+ 0,5'$

Calcular as retas de altura, plotar a posição astronômica obtida (usando o **pólo Norte** como **posição assumida – AP**) e determinar as coordenadas geográficas da posição.

SOLUÇÃO:

- Cálculo das coordenadas horárias (AHG e Dec) dos astros visados:

HMG	SOL			HMG	LUA		
	AHG	Dec	d		AHG	v	Dec d
HMG = 10^h	$330^\circ 40,3'$	$05^\circ 14,2' N$ ($- 0,9'$)		HMG = 10^h	$60^\circ 54,8' (+9,3')$		$21^\circ 54,2' N (- 0,1')$
Incremento $05^m 21^s$	$1^\circ 20,3'$			Incremento $11^m 30^s$	$2^\circ 44,6'$		
Correção v ou d		$- 0,1'$			$+1,8'$		$0,0'$
$10^h 05^m 21^s$	$332^\circ 00,6'$	$05^\circ 14,1' N$		$10^h 11^m 30^s$	$63^\circ 41,2'$		$21^\circ 54,2' N$

– Cálculo das alturas verdadeiras:

ELEMENTO	SOL (LI)	LUA (LI)
ai	05° 59,2'	18° 47,1'
ei	+ 0,5'	+ 0,5'
dp ap (5,0 m)	– 3,9'	– 3,9'
c	+ 7,5'	+ 1° 2,4'
c' (HP 56,2)	–	+ 3,1'
c" (t,p)	– 0,6'	– 0,2'
a	06° 02,7'	19° 49,0'

NOTA: Para o cálculo da **depressão do horizonte (dp ap)**, utilizou-se uma elevação de 5,0 m, correspondente à altura do olho do observador (6,0 m) menos a espessura do gelo (1,0 m).

– Cálculo dos elementos determinativos das retas de altura (usando o **pólo Norte** como **posição assumida**):

ELEMENTO	SOL	LUA
a	06° 02,7'	19° 49,0'
ae (Dec)	05° 14,1'	21° 54,2'
Da	+48,6'	– 2° 05,2' = – 125,2'
Az (Long)	027° 59,4' (E)	063° 41,2' (W)

– Plotagem da posição astronômica:

Ver a figura 41.13.

– Coordenadas geográficas da posição astronômica:

Latitude 87° 48,0' N, Longitude 096° 10,0' E.

2. No dia 08 de novembro de 1993, o ônibus espacial “Discovery” sofreu uma avaria nos seus três sistemas redundantes de controle e nos sistemas de navegação e comunicações, sendo obrigado a tentar um pouso de emergência na Antártica, fora do alcance de qualquer estação de acompanhamento. A aterrissagem foi feita com êxito, em uma seção nivelada do planalto antártico (figura 41.14). O EPIRB–satélite também sofreu avaria, ficando impossibilitado de operar. Embora tenha certeza que o “mayday” transmitido antes do colapso das comunicações foi recebido, o navegador também sabe que a busca a ser efetuada terá pouca probabilidade de êxito sem um “datum” inicial. Estima-se que há energia suficiente nas baterias do transmissor de emergência para uma emissão de 20 segundos, a uma temperatura de –30° C. Assim, decide-se primeiro determinar a posição. Então, com o sextante de bolha do “kit” de emergência da nave, são obtidas as seguintes **alturas verdadeiras** do Sol (já incorporando todas as correções pertinentes):

Figura 41.13 – Plotagem da Posição Astronômica

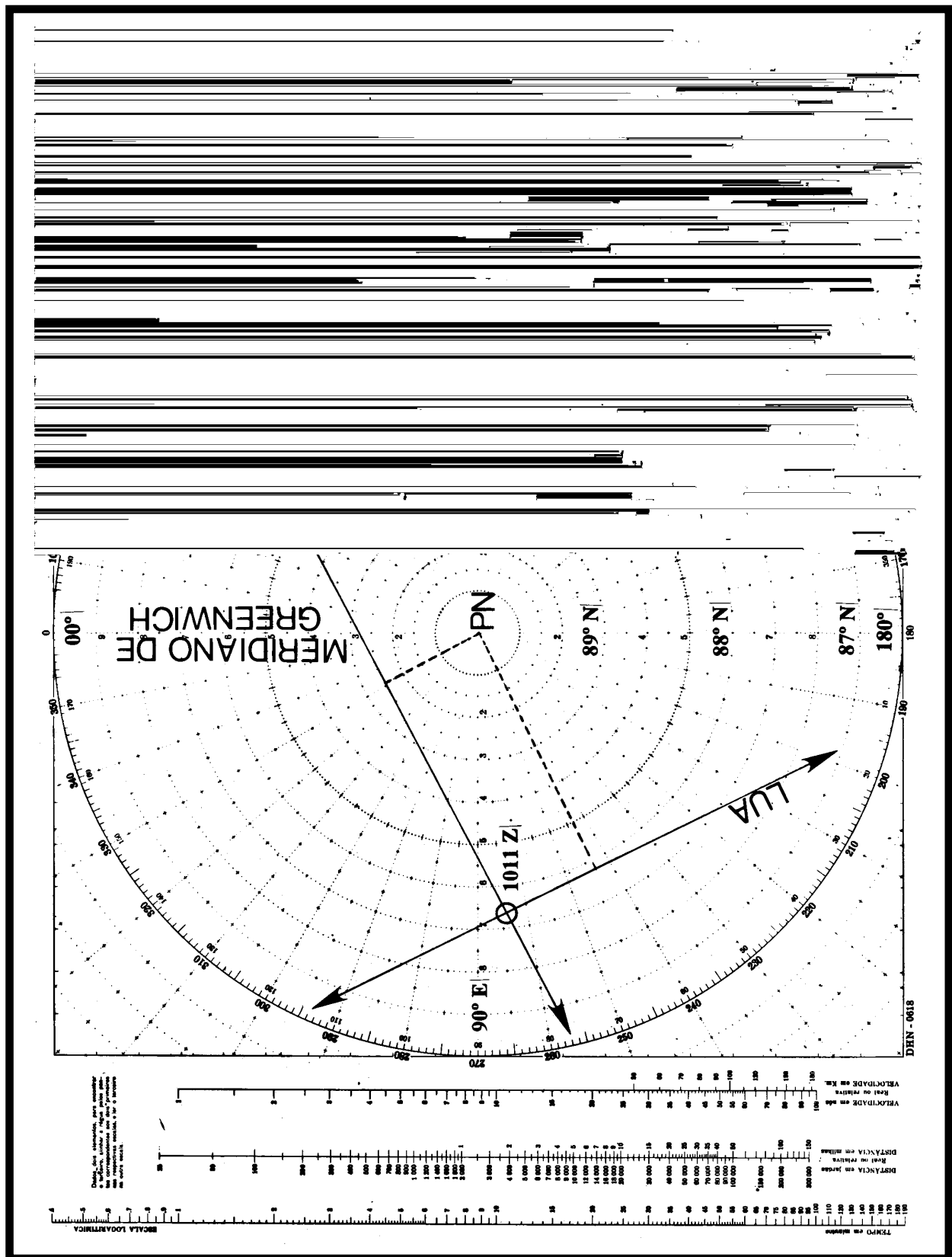
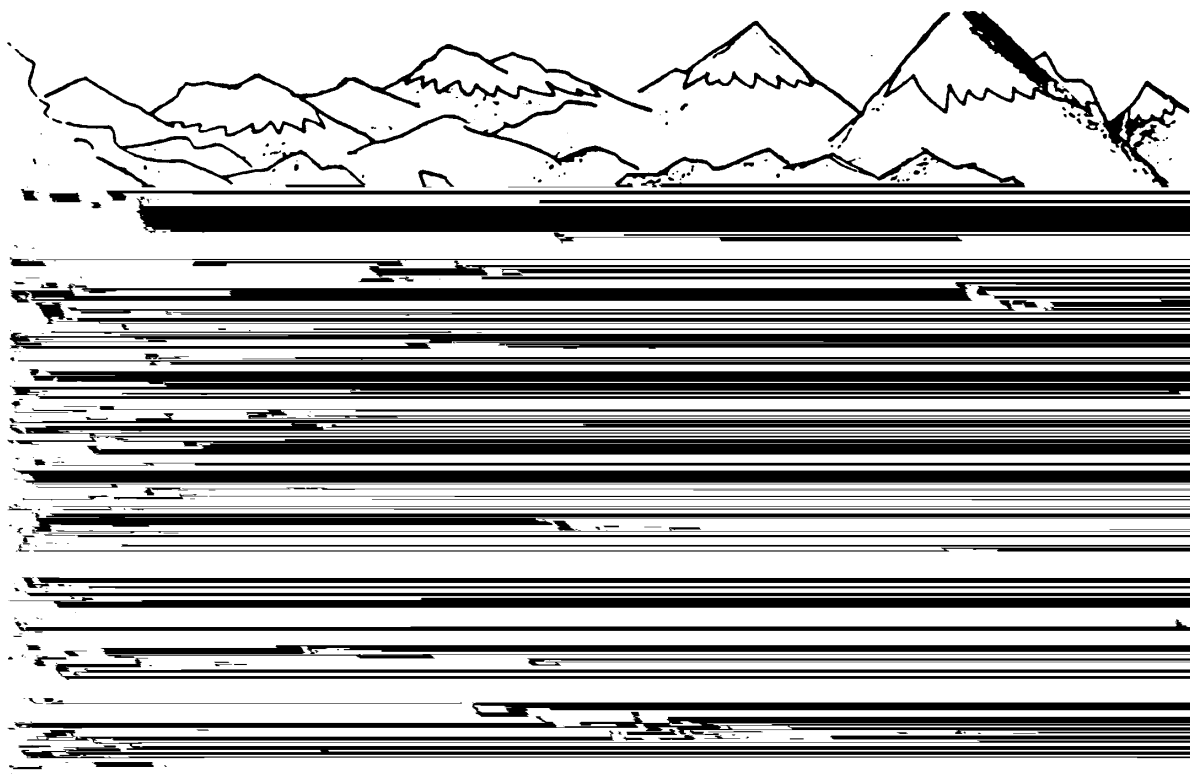


Figura 41.14



HMG (Z)	ALTURA VERDADEIRA (a)
10 ^h 02 ^m 12 ^s	14° 48,9'
11 ^h 14 ^m 16 ^s	15° 05,3'
12 ^h 21 ^m 22 ^s	15° 30,6'

Calcular, plotar e determinar as coordenadas geográficas da posição astronômica, usando o **pólo Sul** como **posição assumida (AP)**.

SOLUÇÃO:

– Cálculo das coordenadas horárias (AHG e Dec) do Sol:

HMG	AHG	Dec	d	HMG	AHG	Dec	d	HMG	AHG	Dec	d
HMG = 10 ^h	334° 03,3'	16° 37,9'S (+0,7')		HMG = 11 ^h	349° 03,3'	16° 38,6'S (+0,7')		HMG = 12 ^h	004° 03,3'	16° 39,3'S (+0,7')	
Inc. 02 ^m 12 ^s	00° 33,0'			Inc. 14 ^m 16 ^s	03° 34,0'			Inc. 21 ^m 22 ^s	05° 20,5'		
Correção d		+ 0,0'		Correção d		+ 0,2'		Correção d		+ 0,3'	
10 ^h 02 ^m 12 ^s	334° 36,3'	16° 37,9'S		11 ^h 14 ^m 16 ^s	352° 37,3'	16° 38,8'S		12 ^h 21 ^m 22 ^s	009° 23,8'	16° 39,6'S	

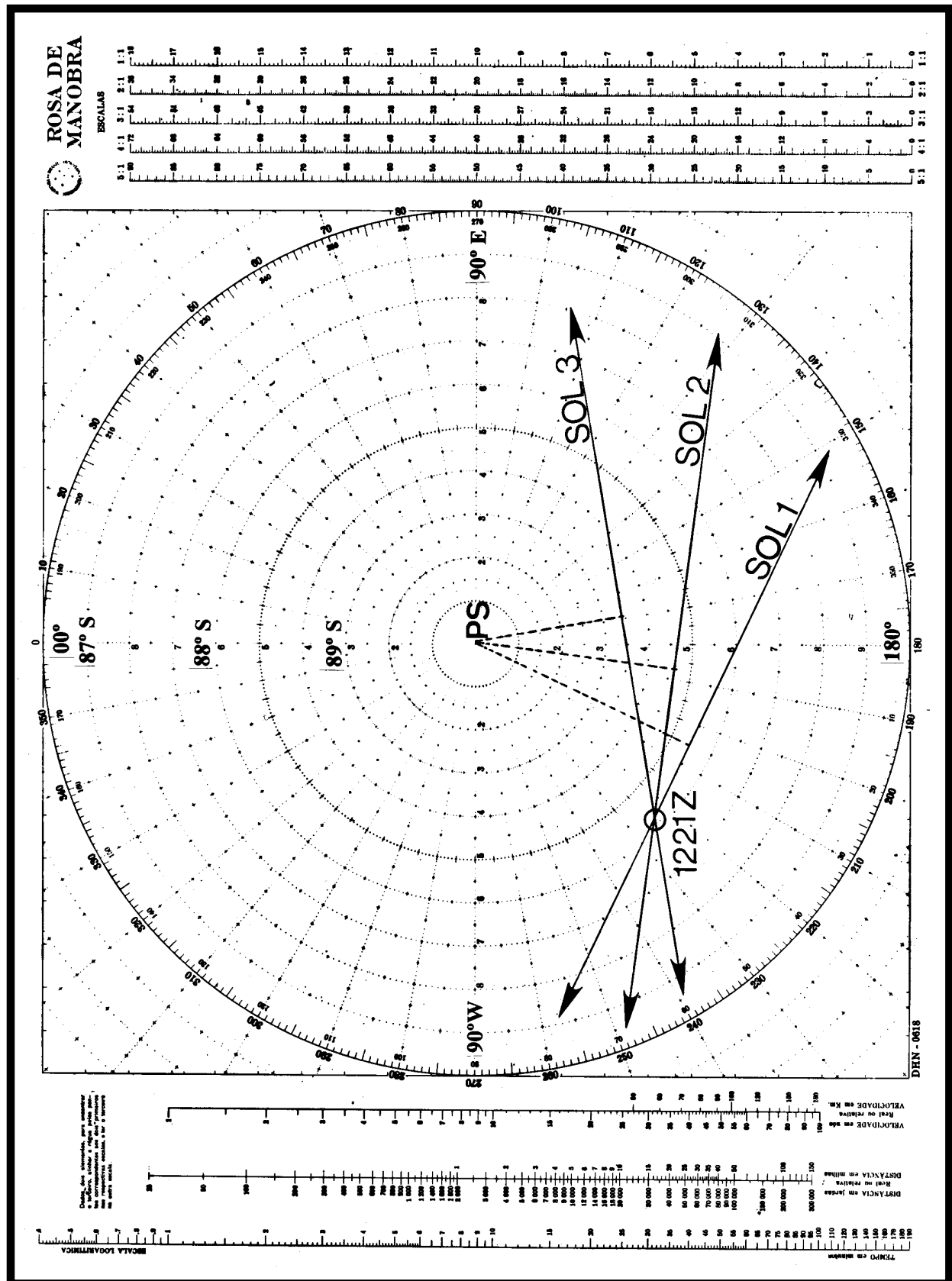
– Cálculo dos elementos determinativos das retas de altura, usando o **pólo Sul** como **posição assumida**:

ELEMENTO	SOL (1)	SOL (2)	SOL (3)
a	14° 48,9'	15° 05,3'	15° 30,6'
ae (Dec)	16° 37,9'	16° 38,8'	16° 39,6'
Da	– 1° 49,0'	– 1° 33,5'	– 1° 09,0'
Az (Long)	025° 23,7' (E)	007° 22,7' (E)	009° 23,8' (W)

– Plotagem da posição astronômica:

Ver a figura 41.15.

Figura 41.15 – Plotagem da Posição Astronômica



– Coordenadas da posição astronômica:

Latitude $88^{\circ} 06,0' S$, Longitude $137^{\circ} 05,5' W$.

c. Cálculo do Nascer e do Pôr-do-Sol, Duração dos Crepúsculos e Número de Horas da Luz Diurna

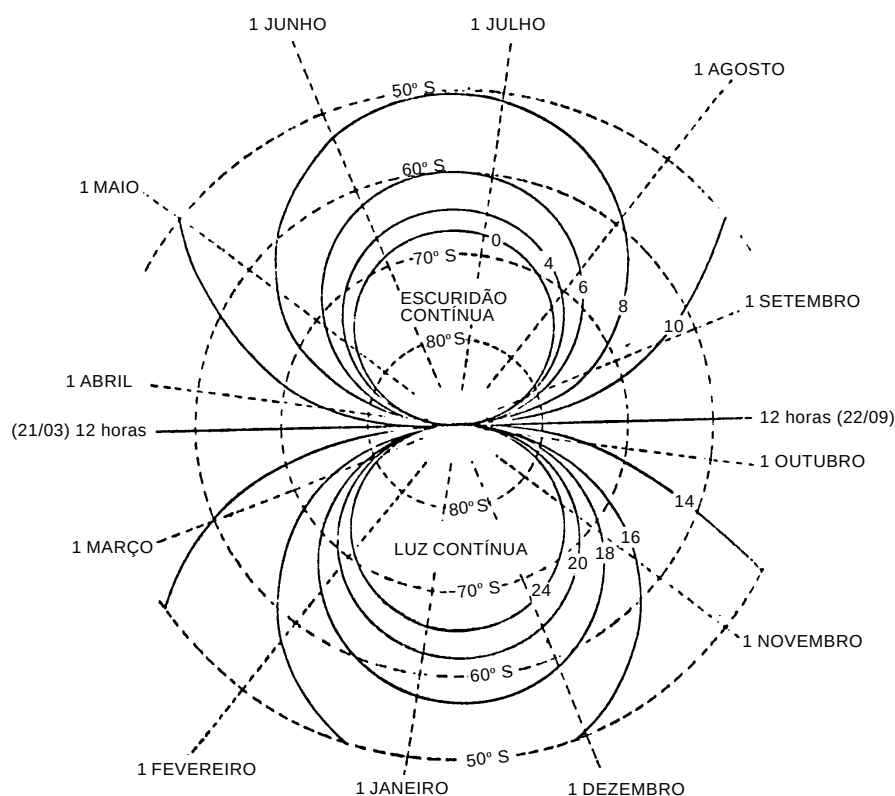
Nas regiões polares, o nascer e o pôr-do-Sol e os crepúsculos não têm o mesmo significado que em Latitudes menores. No pólo, a mudança de altura de um astro resulta apenas de uma mudança de sua Declinação. Como a razão de variação máxima da Declinação do Sol é de cerca de $1'$ por hora e o diâmetro do astro é de aproximadamente $32'$, o Sol inteiro só será realmente visível cerca de 32 horas após o seu “nascer”, ou seja, após o momento em que o seu limbo superior aparecer no horizonte. Além disso, por causa de grandes variações na refração, nas proximidades dos pólos até mesmo o **dia** do nascer do Sol pode ser difícil de prever.

Nestas regiões, a hora do **nascer** e do **pôr-do-Sol** e os horários dos **crepúsculos** não podem ser obtidos no Almanaque Náutico, cujos dados tabulados abrangem apenas Latitudes de $72^{\circ} N$ a $60^{\circ} S$.

Nas proximidades dos pólos, as horas desses fenômenos são obtidas de gráficos especiais, que proporcionam uma visão mais clara das condições, que podem mudar radicalmente com uma alteração pequena de posição ou data. Nessas condições, a interpolação em gráfico é mais simples e precisa que em tábua.

O gráfico da figura 41.16, por exemplo, fornece, para qualquer data do ano, as horas de luz diurna, para Latitudes de $50^{\circ} S$ a $90^{\circ} S$. As linhas radiais tracejadas representam as **datas**; os círculos concêntricos tracejados representam as **Latitudes**; os círculos em linha cheia indicam o **número de horas em que o Sol estará acima do horizonte** durante um período de 24 horas.

Figura 41.16 – Horas de Luz Diurna: Latitudes de $50^{\circ} S$ a $90^{\circ} S$



Utilizando este gráfico pode-se obter o número de horas de luz diurna, ao longo do ano, na Estação Antártica Comandante Ferraz (j 62° 05,0' S , l 058° 23,5' W):

DATA	HORAS DE LUZ DIURNA	DATA	HORAS DE LUZ DIURNA
01/janeiro	20 horas	01/julho	05 horas
01/fevereiro	17 horas	01/agosto	07 horas
01/março	14 horas	01/setembro	10 horas
21/março	12 horas	22/setembro	12 horas
01/abril	11 horas	01/outubro	13 horas
01/maio	08 horas	01/novembro	16 horas
01/junho	06 horas	01/dezembro	19 horas
21/junho	05 horas	21/dezembro	20 horas

As informações sobre o número de horas de luz diurna, por sua vez, podem ser usadas, em conjunto com o Almanaque Náutico, para o cálculo da hora do nascer e do pôr-do-Sol, como veremos no exemplo abaixo.

Calcular a Hora Legal (fuso PAPA : + 3^h) do nascer e do pôr-do-Sol na Estação Antártica Comandante Ferraz, no dia 01/03/1993.

SOLUÇÃO:

– O gráfico da figura 41.16 nos informa que, na Estação Antártica Comandante Ferraz, no dia 01 de março, o número de horas de luz diurna é de 14 horas.

– Portanto, a semiduração da luz do Sol será de 7 horas.

– O Almanaque Náutico nos informa que, no dia 01/03/93, a HML da passagem meridiana do sol é 1212.

– Então, para a Hleg do nascer do Sol, faz-se:

$$\text{HML (passagem meridiana)} = 12^{\text{h}} 12^{\text{m}}$$

$$\text{Semiduração da luz do Sol} = 07^{\text{h}}$$

$$\text{HML (nascer do Sol)} = 05^{\text{h}} 12^{\text{m}}$$

$$\text{Long } 058^{\circ} 23,5' \text{ W} = 03^{\text{h}} 54^{\text{m}} \text{ W}$$

$$\text{HMG (nascer do Sol)} = 09^{\text{h}} 06^{\text{m}}$$

$$\text{Fuso horário} = 03^{\text{h}} \text{ (P)}$$

$$\text{Hleg (nascer do Sol)} = 06^{\text{h}} 06^{\text{m}}$$

– Para a Hleg do pôr-do-Sol:

$$\text{HML (passagem meridiana)} = 12^{\text{h}} 12^{\text{m}}$$

$$\text{Semiduração da luz do Sol} = 07^{\text{h}}$$

$$\text{HML (pôr-do-Sol)} = 19^{\text{h}} 12^{\text{m}}$$

$$\text{Long } 058^{\circ} 23,5' \text{ W} = 03^{\text{h}} 54^{\text{m}} \text{ W}$$

$$\text{HMG (pôr-do-Sol)} = 23^{\text{h}} 06^{\text{m}}$$

$$\text{Fuso horário} = 03^{\text{h}}$$

$$\text{Hleg (pôr-do-Sol)} = 20^{\text{h}} 06^{\text{m}}$$

Os gráficos das figuras 41.17 e 41.18 (a) e (b), preparados pelo U.S. Naval Observatory, além do número de horas de luz diurna e das horas do nascer e pôr-do-Sol,

permitem, também, determinar a hora do início/término e a duração do crepúsculo civil e crepúsculo náutico, para Latitudes de 60° S a 90° S.

Figura 41.17 – Semiduração da Luz do Sol

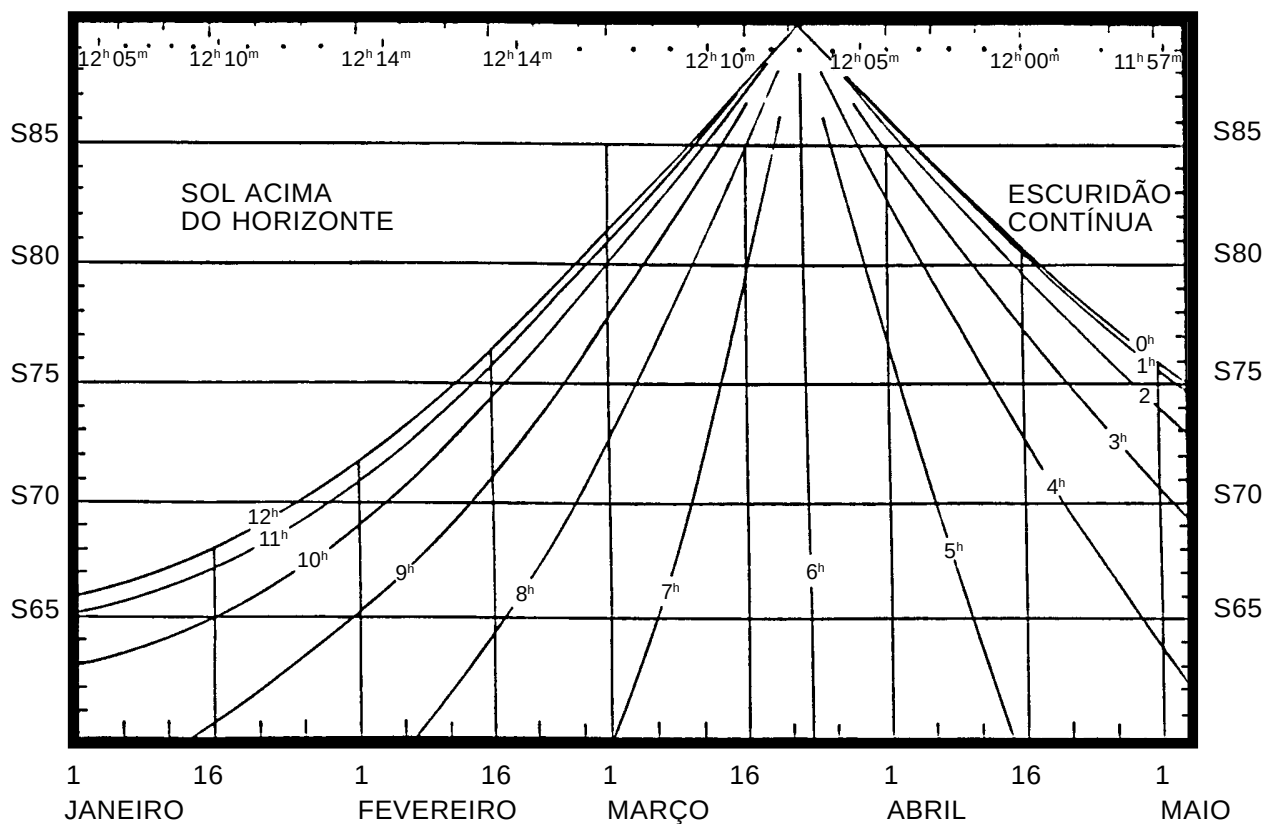


Figura 41.18a – Duração do Crepúsculo Civil

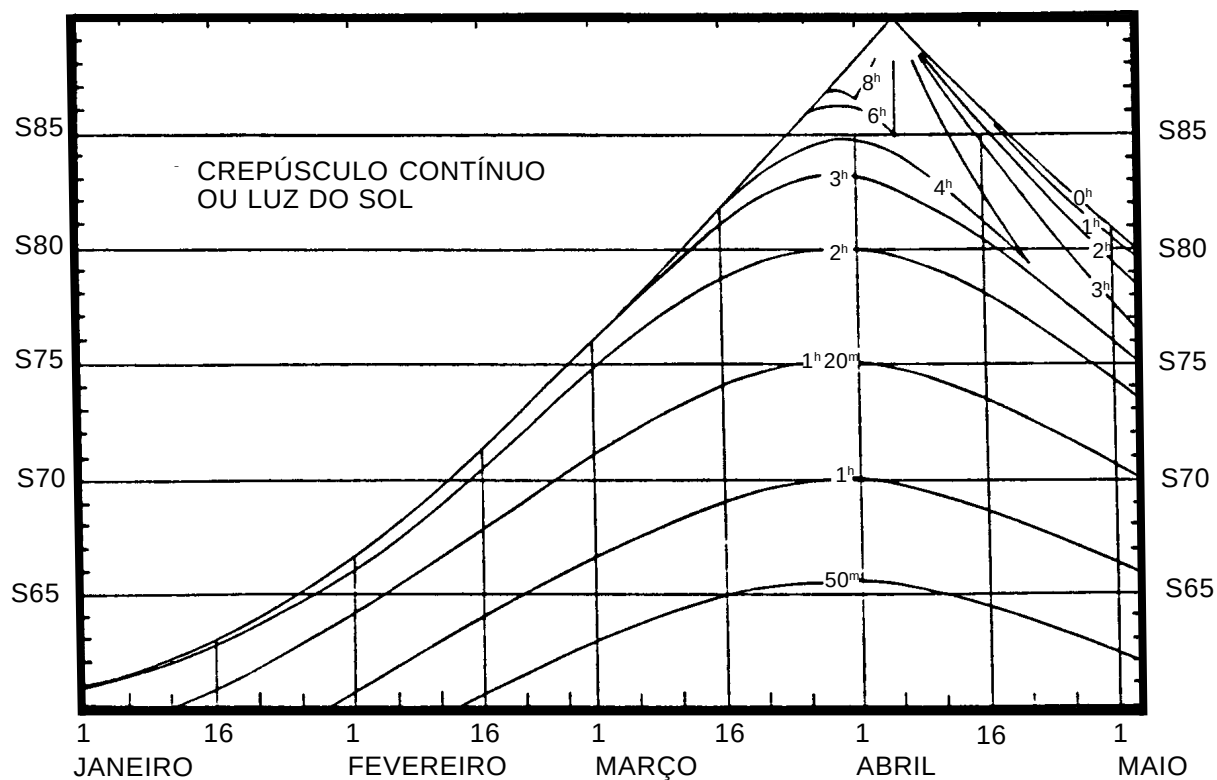
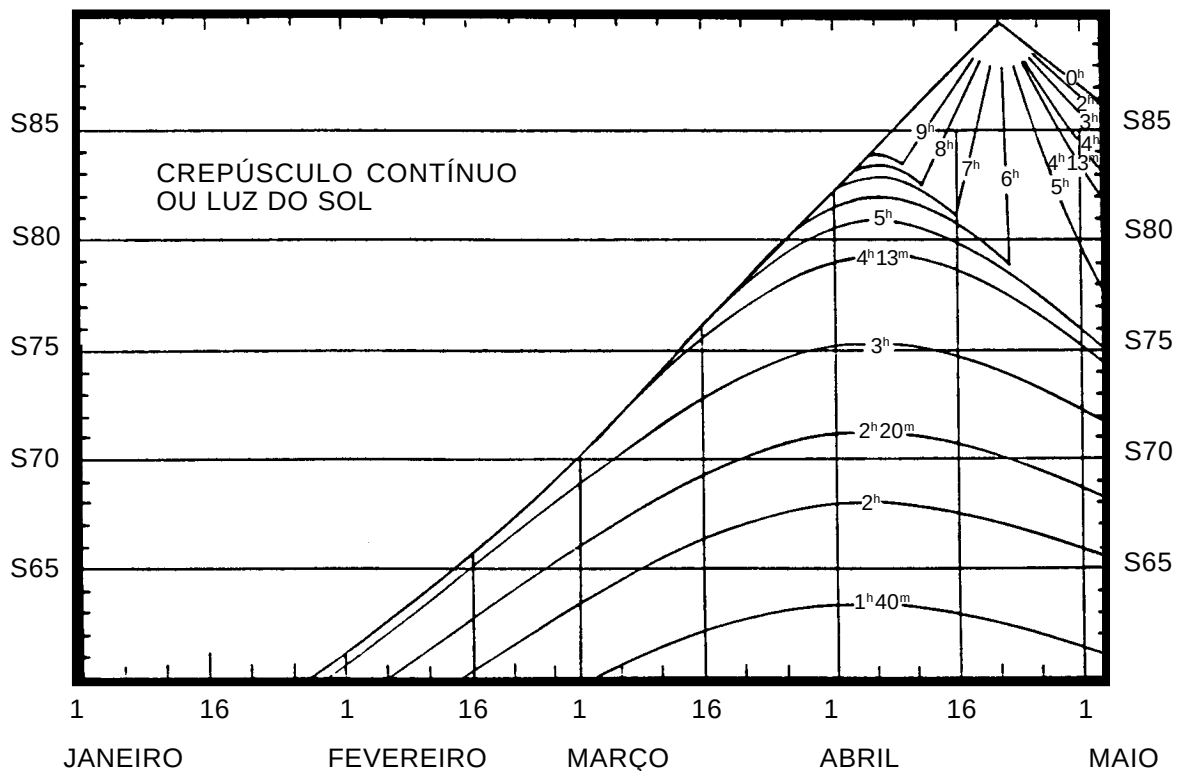


Figura 41.18b – Duração do Crepúsculo Náutico



O gráfico SEMIDURAÇÃO DA LUZ DO SOL (figura 41.17) fornece, para Latitudes ao sul de 60°, o número de horas decorridas entre o nascer do Sol e a passagem meridiana, ou entre a passagem meridiana e o pôr-do-Sol. Há luz do Sol contínua na área marcada SOL ACIMA DO HORIZONTE.

Os números na parte de cima do gráfico indicam a Hora Média Local (HML) da passagem meridiana do Sol para diversas datas. Com o auxílio dos pontos intermediários, a HML da passagem meridiana para qualquer dia pode ser obtida, até o minuto mais próximo.

As HML do nascer e do pôr-do-Sol podem ser determinadas, respectivamente, subtraindo-se e somando-se à HML da passagem meridiana a semiduração da luz do Sol. Em seguida, as HML obtidas podem ser transformadas em HORA LEGAL.

EXEMPLO:

Calcular a Hleg (nascer do Sol), a Hleg (pôr-do-Sol) e a Hleg (passagem meridiana do Sol), no dia 16/01/93, na posição Latitude 67° S, Longitude 041° W, para o fuso PAPA (+3^h).

SOLUÇÃO:

a) HML (passagem meridiana):	12 ^h 10 ^m	(figura 41.17)
semiduração da luz do Sol	11 ^h	(figura 41.17)
b) HML (nascer do Sol):	01 ^h 10 ^m	
c) HML (pôr-do-Sol):	23 ^h 10 ^m	
d) HML (nascer do Sol):	01 ^h 10 ^m	
Longitude:	02 ^h 44 ^m	W
HMG (nascer do Sol):	03 ^h 54 ^m	Z
fuso:	03 ^h	(P)
Hleg (nascer do Sol):	00 ^h 54 ^m	P

e) HML (pôr-do-Sol):	23 ^h 10 ^m		
Longitude:	02 ^h 44 ^m	W	
HMG (pôr-do-Sol):	01 ^h 54 ^m	Z	(dia seguinte)
fuso:	03 ^h	(P)	
Hleg (pôr-do-Sol):	22 ^h 54 ^m	P	
f) HML (passagem meridiana):	12 ^h 10 ^m		
Longitude:	02 ^h 44 ^m	W	
HMG (passagem meridiana):	14 ^h 54 ^m	Z	
fuso:	03 ^h	(P)	
Hleg (passagem meridiana):	11 ^h 54 ^m	P	

Os outros dois gráficos (figuras 41.18 (a) e (b)) fornecem a DURAÇÃO DO CREPÚSCULO CIVIL, matutino e vespertino (respectivamente, o intervalo de tempo entre o instante em que o centro do Sol está 6° abaixo do horizonte e o nascer do Sol, e o intervalo de tempo entre o pôr-do-Sol e o instante em que o centro do Sol está 6° abaixo do horizonte), e a DURAÇÃO DO CREPÚSCULO NÁUTICO, matutino e vespertino (respectivamente, o intervalo de tempo entre o instante em que o centro do Sol está 12° abaixo do horizonte e o nascer do Sol, e o intervalo de tempo entre o pôr-do-Sol e o instante em que o centro do Sol está 12° abaixo do horizonte).

No gráfico da figura 41.18 a, na região marcada “CREPÚSCULO CONTÍNUO OU LUZ DO SOL” o Sol nunca passa de 6° abaixo do horizonte. No gráfico da figura 41.18 b, na área supracitada o Sol nunca passa de 12° abaixo do horizonte.

EXEMPLO:

Calcular a DURAÇÃO DO CREPÚSCULO CIVIL e do CREPÚSCULO NÁUTICO e a Hora Legal (fuso PAPA) do início do crepúsculo matutino (civil e náutico) e do término do crepúsculo vespertino (civil e náutico), na Estação Antártica Comandante Ferraz, no dia 20/01/93.

SOLUÇÃO:

a) 20/01/93 -	HML (passagem meridiana) = 12 ^h 11 ^m (figura 41.17)
	Semiduração da luz do Sol = 09 ^h (figura 41.17)
	HML (nascer do Sol) = 03 ^h 11 ^m
	Longitude = 03 ^h 54 ^m W
	HMG (nascer do Sol) = 07 ^h 05 ^m
	Fuso = 03 ^h (P)
	Hleg (nascer do Sol) = 04 ^h 05 ^m

b)	Hleg (nascer do Sol) = 04 ^h 05 ^m
	Duração do crepúsculo civil = 01 ^h 20 ^m (figura 41.18 a)
	Hleg (início crep. civil matutino) = 02 ^h 45 ^m

c) Duração do crepúsculo náutico matutino: Crepúsculo contínuo (Sol não chega a alcançar 12° abaixo do horizonte), conforme indicado na figura 41.18 b.

d)	HML (passagem meridiana) = 12 ^h 11 ^m
	Semiduração da luz do Sol = 09 ^h
	HML (pôr-do-Sol) = 21 ^h 11 ^m
	Longitude = 03 ^h 54 ^m W
	HMG (pôr-do-Sol) = 01 ^h 05 ^m (dia seguinte)

$$\begin{array}{rcl} \text{HMG (pôr-do-Sol)} & = & 01^{\text{h}} 05^{\text{m}} \text{ (dia seguinte)} \\ \text{Fuso} & = & 03^{\text{h}} \text{ (P)} \\ \hline \text{Hleg (pôr-do-Sol)} & = & 22^{\text{h}} 05^{\text{m}} \end{array}$$

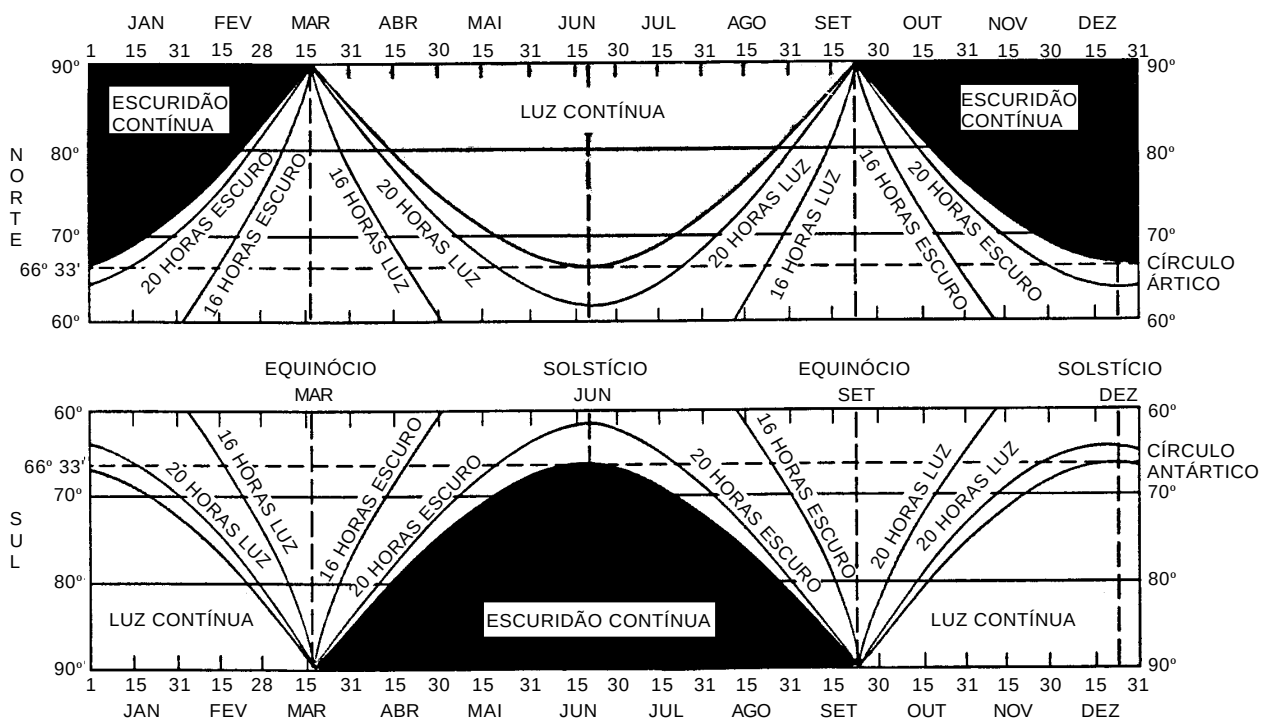
e)

$$\begin{array}{rcl} \text{Hleg (pôr-do-Sol)} & = & 22^{\text{h}} 05^{\text{m}} \\ \text{Duração do crepúsculo civil} & = & 01^{\text{h}} 20^{\text{m}} \\ \hline \text{Hleg (término crep. civil vespertino)} & = & 23^{\text{h}} 25^{\text{m}} \end{array}$$

f) Duração do crepúsculo náutico vespertino: Crepúsculo contínuo (figura 41.18 b).

O gráfico da figura 41.19 também informa o número de horas de luz diurna/escuridão nas regiões polares ao longo do ano. No Círculo Polar Antártico (Latitude $66^{\circ} 33' \text{ S}$), por exemplo, têm-se cerca de 20 horas de escuridão por dia, na data de 15 de maio.

Figura 41.19 – Duração da Luz do Dia (60° a 90°)



41.5 SEGURANÇA DA NAVEGAÇÃO NA ANTÁRTICA

41.5.1 FORMAÇÃO E PRESENÇA DE GELO NO MAR

Em altas Latitudes a ameaça de avarias no navio está sempre presente. Muitos programas de eventos operacionais em expedições polares tiveram que ser alterados na última hora por causa de mudanças no tempo, condições severas de gelo e avarias nos navios. A presença de gelo deve sempre demandar a prática de navegação cautelosa e marinharia prudente, pois o gelo impõe sérios obstáculos, principalmente aos inexperientes e desavisados. O conhecimento sobre gelo no mar para o navegante polar é uma das armas mais efetivas para assegurar o sucesso de sua missão.

As duas espécies gerais de gelo de interesse do navegante são o “ICEBERG” e o “PACK ICE”.

Os “icebergs” são grandes massas de gelo de água doce, produzidos em terra, mas que flutuam no oceano. Cerca de 99% do continente antártico (área total de 14.000.000 km²) são cobertos por uma espessa calota de gelo, cujo volume total é estimado em 30.000.000 km³ de gelo. A espessura média deste manto de gelo é de 2.120 m; a máxima espessura encontrada é de 4.776 m. Se a calota de gelo antártico derreter, o nível médio dos mares aumentará de 60 m a 65 m.

Esta calota de gelo nivela a topografia do interior do continente antártico, que se apresenta com grandes extensões planas, tornando difícil a orientação. Este imenso manto de gelo está em movimento, sendo a velocidade no centro da calota de 1 a 2 m por ano e, na periferia, de até 2 km por ano. Por causa da plasticidade do gelo e da força da gravidade, as calotas de gelo continentais da Antártica fluem em direção ao mar. As **plataformas de gelo (barreiras de gelo)** são partes flutuantes do manto de gelo antártico, formadas quando o gelo flui do interior do continente, chega à costa e flutua, sem, no entanto, separar-se do continente. Cerca de 45% a 50% da costa da Antártica são constituídas por plataformas de gelo, com 200 a 1.000 metros de espessura.

A maior dessas plataformas, a Plataforma de Ross, tem uma área aproximada de 540.000 km² (ou seja, quase o tamanho do Estado da Bahia). Outra importante plataforma de gelo é a Plataforma de Larsen (no Mar de Weddell), ligada à parte leste da península antártica.

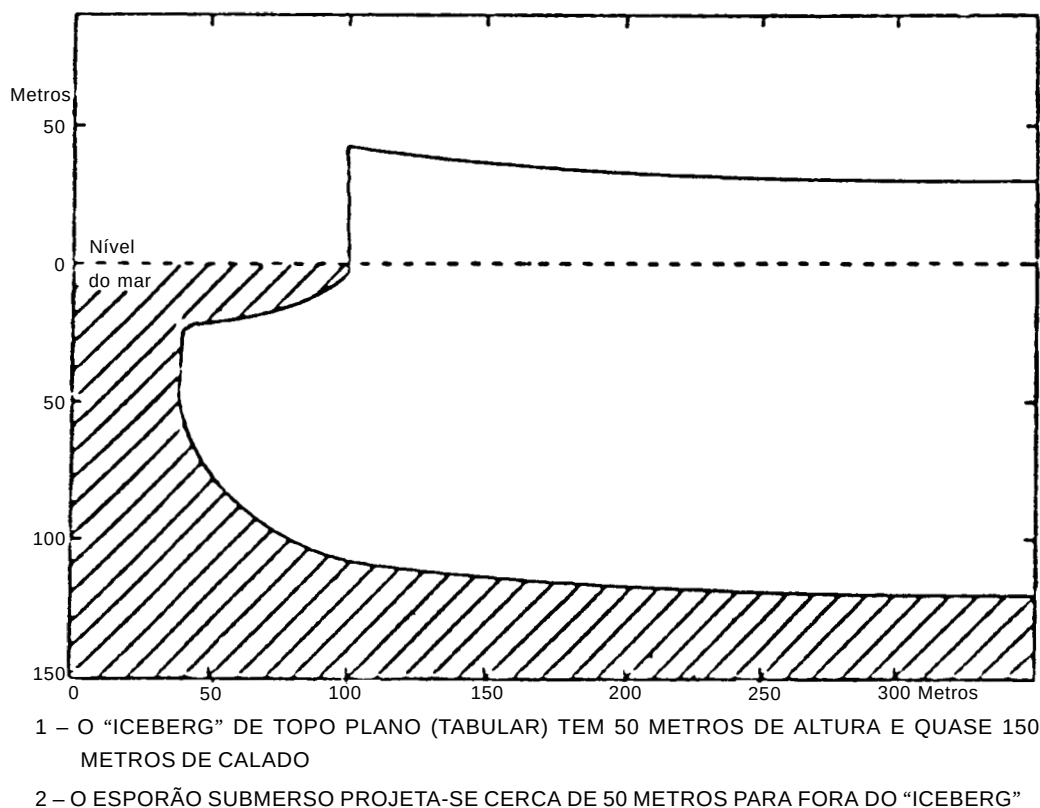
“Icebergs” são formados constantemente a partir dessas plataformas de gelo. A ação das vagas e o solapamento por baixo enfraquecem as seções que se projetam, até que estas finalmente se quebram e se desgarram, passando a flutuar no mar como “icebergs”. Correntes e ventos, então, carregam estes blocos de gelo para regiões distantes, até que a ação das vagas e mudanças de temperatura causam sua desintegração final.

É interessante distinguir dois tipos gerais de “icebergs”. Os “icebergs” de plataforma, mais comuns na Antártica, quando se desprendem das barreiras de gelo têm, normalmente, tope plano e paredes laterais quase verticais, sendo denominados de **“icebergs” tabulares**. Os “icebergs” provenientes de geleira, ou glaciár, predominantes no Ártico, apresentam, geralmente, superfícies recortadas e facetadas. Entretanto, os “icebergs” de qualquer procedência, principalmente depois de fragmentados, podem tomar as formas mais diferentes, tais como cogumelos, forma de pão, navio, dique seco, montanha, castelos, velhas fortificações, catedrais, cavernas, casas e outros. O que não pode ser visto, contudo, é a enorme seção submersa, que é cerca de 5 ou 6 vezes maior que a parte visível (seção acima do nível do mar). Assim, o calado de um “iceberg” é cerca de 3 a 5 vezes a altura da parte descoberta.

Os “icebergs” são perigosos e os navios devem manter-se afastados. Por ser somente um pouco menos denso que a água do mar que o cerca, aproximadamente 9/10 (nove décimos) de um “iceberg” (em peso) ficam abaixo do nível do mar. Ademais, freqüentemente aríetes e pontas submersas projetam-se dos “icebergs” (figura 41.20), trazendo perigo a qualquer navio próximo. Além disso, os “icebergs” às vezes emborcam ou mudam sua posição de equilíbrio, em virtude de alteração de seu centro de gravidade. Desta forma, deve-se guardar distância de “icebergs”.

Alguns “icebergs” apresentam superfícies lisas, outros aparecem corrugados e cheios de marcas, constituídas por pequenos sulcos resultantes da ação de derretimento, pelo aquecimento do Sol e da atmosfera.

“Icebergs” novos têm uma aparência estranha, luminosa e relativamente macia (“soft”), suas camadas superiores são compostas de neve compactada, ainda nos estágios iniciais de formação de gelo. Outros “icebergs” aparecem desgastados e erodidos pela idade e pelas forças de desintegração.

Figura 41.20 – Corte Vertical de “Iceberg” Tabular com Esporão Submerso

“Icebergs” que emborcaram, em virtude de mudança em seu centro de gravidade, são de cor azul, devido à ação da água na parte que estava por baixo. Outros são escuros, por causa das rochas e sedimentos a ele incorporados.

Os maiores “icebergs” são pedaços enormes da plataforma de gelo, que se desprendem da calota polar, formando grandes blocos tabulares de gelo. Um gigante avistado pelo Quebra-Gelo americano USS “GLACIER” na Antártica, em 12 de novembro de 1956, tinha 334 km de comprimento e 96 km de largura.

Em 1994, cerca de 4.500 km² da Plataforma de Gelo Larsen foram perdidos para o mar. A desintegração, iniciada no dia 22 de janeiro, formou um grande número de fragmentos de gelo, alguns com 200 a 300 metros de espessura. No dia 22 de março, todo o gelo já estava fragmentado e avançando como “icebergs” de tamanho variado (algumas dezenas de metros a alguns quilômetros) no Mar de Weddell. Entre estes, foi noticiado um “iceberg” gigante, medindo 60 km de comprimento por 10 km de largura, que se movimentou para o norte no verão austral seguinte.

Em 1999 foi detectado um “iceberg” gigante no Mar de Ross, ao sul da Nova Zelândia. O “iceberg”, maior que a Jamaica, tinha 295 km de extensão e 37 km de largura, com uma área de quase 11.000 km², e se desprende da barreira glacial de Ross. Em outubro do mesmo ano, o “iceberg” denominado B-10A* foi plotado entre a Passagem de Drake e o Mar de Bellingshausen, a 600 km da Terra do Fogo, tendo 77 km de comprimento e 38 km de largura, com uma área de 2.926 km². Esse iceberg tinha 75 metros de altura e um calado de cerca de 300 metros, e se deslocava a 15 km/dia. O B-10A originou-se da ruptura de outro gigante, o “iceberg” B10, que, em 1992, ao se desprender das geleiras do Mar de Amundsen tinha 150 km de comprimento por 70 km de largura.

* Os “icebergs” recebem a designação alfanumérica para indicar sua origem: a letra **B**, por exemplo, indica o quadrante antártico de onde se desprende (no caso, as geleiras Thwaite, no Mar de Amundsen); o número **10** indica que é o décimo “iceberg” identificado naquela região; a letra **A** mostra que se formou de um outro “iceberg” (B-10).

Conforme o tamanho, os seguintes termos são normalmente empregados na classificação dos blocos de gelo de água doce flutuantes:

– “ICEBERG” – 30 ou mais metros de extensão.

– “BERGY BIT” – pedaço de gelo de tamanho médio, geralmente com menos de 5 m de altura e de 6 m a 30 m de extensão, aproximadamente do tamanho de uma casa. Um “BERGY BIT” normalmente origina-se de um gelo de glaciário (“iceberg”), embora também possa, ocasionalmente, originar-se de uma grande peça de gelo marinho amontado (gelo de pressão). Quando originado de gelo marinho (“sea ice”) denomina-se “FLOEBERG”.

– GROWLER – pedaço de gelo de glaciário (de água doce) flutuante, de 2 m a 6 m de extensão. Muitas vezes aparecem esverdeados e pouco mostram acima da água. Também podem ser originados de gelo marinho (“sea ice”).

– BRASH – pedaço pequeno de gelo flutuante, de menos de 2 m de extensão (fragmentos de gelo de menos de 2 m de diâmetro).

A presença de “icebergs” às vezes pode ser útil. Por causa de seu calado, eles podem indicar uma região de altos-fundos, onde estariam encalhados. Assim, numa área de informações hidrográficas deficientes, a concentração de “icebergs” poderá marcar os altos-fundos. Outro benefício deriva da capacidade de destruição dos “icebergs” sobre o “pack ice”. Os “icebergs” podem apresentar movimentos diferentes dos movimentos do “pack ice”, em virtude de serem mais influenciados pelas correntes marítimas que pelo vento. Assim, às vezes movem-se numa direção oposta ao movimento do “pack ice”, destruindo partes do gelo marinho e deixando abertas passagens para os navios. Já houve mesmo casos de navios que amarraram-se a um “iceberg” para serem rebocados por ele através de um campo de gelo marinho pesado e perigoso.

O “pack ice”, gelo de origem marinha, formado de água salgada, normalmente não pode ser evitado nas regiões polares, em virtude de sua origem (água do mar) e maior abundância e concentração.

O **gelo marinho (“sea ice”)** começa a formar-se em águas rasas e abrigadas, próximas da costa, ou em baías, enseadas e estreitos, onde não existe corrente apreciável e onde as águas são normalmente calmas. Quando o congelamento começa em uma área, ele espalha-se do centro em todas as direções.

A água doce congela-se a 0° C. Isto não ocorre, entretanto, com a água do mar, por causa de seu conteúdo de sal. Assim, uma água cuja salinidade seja de 35 PPM (partes por mil) só começa a congelar quando resfria a cerca de -2° C. Durante a fase inicial de congelamento e formação de gelo marinho, um outro efeito que retarda o congelamento rápido são as **correntes de convecção**, pelas quais a água fria da superfície (resfriada pelas camadas inferiores da atmosfera) afunda, para ser substituída por água mais quente da sub-superfície. Teoricamente, o equilíbrio seria alcançado quando toda a água tivesse sido resfriada até a temperatura na qual ela é mais densa. Entretanto, este efeito é contrabalançado e sobrepujado pelo rápido progresso do resfriamento na superfície. A ação das vagas e marulhos também obstrui a formação de gelo marinho, através da mistura da água das camadas superiores.

Com desenvolvimentos posteriores, o gelo constitui-se em uma camada contínua de **gelo novo (“young ice” ou “wet ice”)**, saturado com água, que tem uma composição cristalina bruta, de cristais mais ou menos desenvolvidos.

A camada superior deste **gelo jovem** pode ser lisa, mas em geral é ligeiramente irregular; a camada de baixo tem uma aparência muito mais bruta. Por baixo da camada

do fundo dos cristais de gelo unidos, uma camada de água do mar de cerca de 1 pé (30,5 centímetros) de espessura, saturada com cristais de gelo, congela-se e gradualmente torna o gelo recém-formado cada vez mais espesso. O gelo marinho normalmente cresce de baixo para cima, aumentando quando o efeito isolante do gelo é compensado pelas baixas temperaturas das camadas de água adjacentes.

A espessura do gelo marinho também pode ser aumentada pela superposição de um floco (“floe”) de gelo sobre outro, onde o floco de baixo atua como uma balsa para suportar o de cima (**“raft ice”**). Quando ocorre um derretimento seguido de congelamento, as duas placas se consolidam e a espessura do gelo fica duplicada. A espessura também pode ser aumentada pela extensa cobertura de neve sobre os flocos de gelo marinho.

O desenvolvimento do gelo marinho na Antártica, desde os estágios iniciais, depende mais da adição de neve na camada superior do que no Ártico, onde o aumento da espessura depende mais da adição de gelo à parte de baixo dos flocos. Além disso, o gelo da Antártica não atinge a grande idade que alcança o gelo do Ártico (**“paleocrystic ice”**), que é, por isso, muito mais espesso e irregular, em virtude de o gelo antártico escapar para os mares abertos, o que não ocorre no Ártico, onde o gelo mais velho e mais duro chega a alcançar 5 m a 6 m de espessura.

O gelo marinho, depois de um rápido crescimento inicial (7,5 a 10 cm nas primeiras 24 horas), continua a desenvolver-se até que a qualidade isolante do gelo supera o congelamento da água sob ele. A cobertura de neve aumenta a qualidade isolante. Na Antártica, o **gelo de inverno** (“winter ice”) tem uma espessura média de 1 a 2 metros, alcançando um máximo de 3 metros. Entretanto, a maior parte do **gelo marinho** com o qual um navio entrará em contato varia de 60 cm a 2 metros de espessura. O empilhamento anteriormente citado (quando uma placa amontoa-se sobre a outra, por pressão) normalmente é responsável pelas concentrações mais espessas.

Então, o processo de formação de gelo marinho (por congelamento da água do mar) pode ser resumido na seguinte sequência:

- A temperatura da água do mar baixa até cerca de $-1,8^{\circ}\text{C}$;
- formam-se pequenos cristais de gelo em suspensão na superfície (“frazil ice”, ou sopa de gelo);
- os cristais são comprimidos pela ação das ondas; as ondas se atenuam (“grease ice”);
- formam-se pequenas panquecas (“pancake ice”) de 20 a 50 cm de diâmetro;
- cristais de gelo sobem nas panquecas por ação das ondas (“pancake” + “frazil”), formando flocos de 3 a 5 m de diâmetro e 0,5 m de espessura;
- panquecas se unem por coalescência e depois os flocos se fecham, no outono;
- neve se acumula sobre os flocos consolidados, cujas feições individuais não se identificam mais;
- flocos se amontoam, formando cadeias de pressão (“pressure ridges”), de maior espessura e concentração; e
- após um ano, a espessura aumenta.

O derretimento do gelo marinho e os primeiros sinais de desintegração começam na primavera (setembro), quando os períodos de luz diurna passam a crescer. A maior parte do derretimento é devida à absorção, pelo gelo, de calor da água do mar que o circunda, embora algum derretimento ocorra por causa da ação solar direta e o contato do

gelo com o ar atmosférico mais quente. Na Antártica, onde a umidade relativa é baixa (clima seco), a maior parte do derretimento da camada superior do gelo marinho dá-se sob a forma de EVAPORAÇÃO, imperceptível ao observador comum.

No que se refere ao tipo de gelo marinho, distinguem-se o “fast ice” e o “pack ice”.

– “FAST ICE”: essencialmente, não há diferenças físicas entre o “fast ice” e o “pack ice”, ambos são constituídos por **gelo marinho**, formado por água do mar congelada. O “fast ice” é o gelo marinho preso à costa, que se forma em baías abrigadas, golfos e estreitos e que, durante o inverno, permanece estacionário (parado). No verão, o “fast ice” é o gelo marinho que normalmente se derrete e se desintegra primeiro.

– “PACK ICE”: é o gelo marinho formado no mar aberto. Está continuamente em movimento, como resultado do vento, maré e corrente.

Cada massa de gelo marinho separada tende a alinhar-se com o vento e ser dirigida por ele a diferentes velocidades. Esta característica resulta em aberturas e espaços de água livres de gelo entre massas de gelo adjacentes, por onde os navios devem navegar. Além disso, efeitos locais interagindo com efeitos de grandes áreas, e efeitos da maré em conjunto com os efeitos das correntes marítimas predominantes, produzem no “pack ice” movimentos de acordeon, que podem facilitar ou dificultar o progresso do navio. A velocidade com que os diferentes blocos de gelo marinho (“floes”) movem-se na **direção do vento** não é tão dependente do seu tamanho e profundidade, como da natureza de sua camada superior. Ondulações e colinas de pressão (“pressure ridges”) no gelo marinho atuam como áreas véllicas e aumentam a velocidade das placas.

O “pack ice” não é uma superfície totalmente contínua, lisa e regular. Geralmente consiste de uma mistura de gelo novo (“young ice”), gelo velho, pequenos pedaços de gelo soltos, grandes flocos, oblongos, circulares ou de forma irregular. Cada uma dessas partes individuais oferecerá diferentes resistências à passagem da água e diferentes reações ao vento. Até ganhar movimento, grandes placas (“large floes”) aceleram vagarosamente, mas, depois que começam a se mover, deslocam-se por muito mais tempo que as placas menores. Nos estágios iniciais do movimento, as placas grandes e pesadas serão atacadas pelos flocos menores, que tendem a ultrapassá-las. Em estágios posteriores, quando os flocos menores já cessaram ou diminuíram seu movimento, serão atacados pelos flocos maiores (que continuam em movimento).

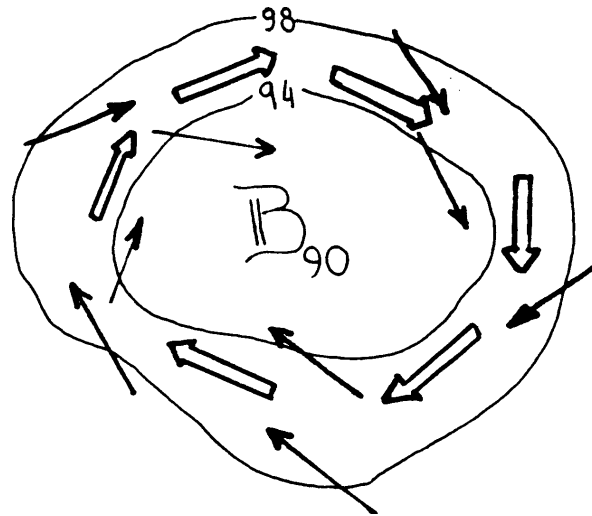
O movimento do gelo marinho (“ice drift”) é diretamente dependente do vento, sendo também afetado pelas **correntes marítimas** (causadas pelo vento ou por movimentos compensatórios das massas de água). Embora ventos e correntes de maré locais possam causar compactação ou rarefação de gelo localizadas, o movimento médio do todo permanece inalterado.

No Hemisfério Sul, o vento gira em torno de uma **baixa** no sentido horário, formando um ângulo de 10° a 20° com as isóbaras à superfície e sendo tão mais forte quanto mais próximas forem as isóbaras. A deriva do gelo (“ice drift”) causada pelo vento será paralela às isóbaras e terá uma velocidade de cerca de 1/50 da intensidade do vento (figura 41.21).

Na Antártica, uma grande disparidade nas condições do gelo (“ice conditions”) ocorre de uma estação do ano para outra (variação sazonal). Em virtude disto, é difícil qualquer prognóstico de gelo na Antártica. Os mares antárticos, não tendo áreas terrestres para restringir o movimento para fora do “ice pack” (como ocorre no Ártico), até Latitudes mais baixas, apresentam limites de gelo (“ice boundaries”) que dependem apenas das correntes de ar de superfície favoráveis para seu transporte. Raramente a borda norte do “pack ice”

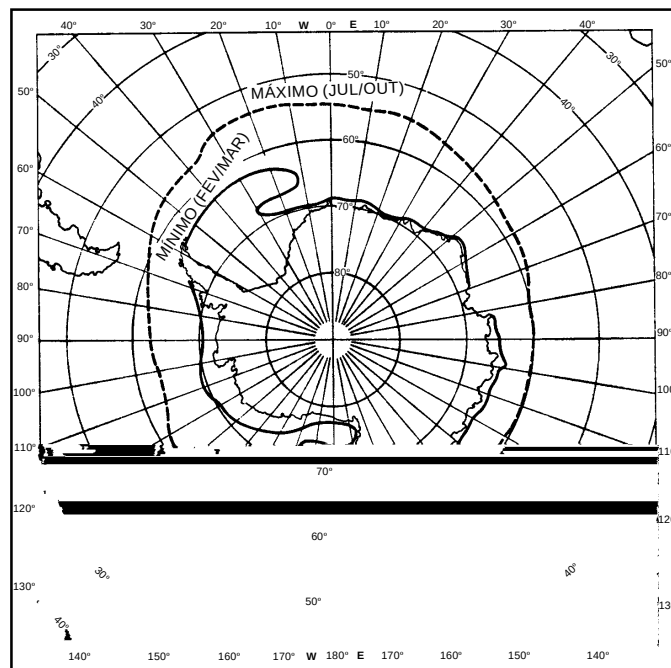
segue uma linha reta e regular. Existem baías profundas, projeções e línguas de gelo infiltrando-se por milhas para dentro e para fora do corpo principal do “pack ice”.

Figura 41.21 – Deriva do Gelo Causada pelo Vento no Hemisfério Sul



- GIRO DO VENTO EM TORNO DE UMA BAIXA NO HEMISFÉRIO SUL (ÂNGULO DE 10° A 20° COM AS ISÓBARAS).
 ⇨ DERIVA DO GELO (“ICE DRIFT”) CAUSADA PELO VENTO (PARALELA ÀS ISÓBARAS, COM VELOCIDADE DE CERCA DE 1/50 DA INTENSIDADE DO VENTO).

Figura 41.22 – Valores Médios da Extensão Máxima e Mínima do Gelo Marinho Antártico



A borda do “pack ice” estende-se o máximo para o norte no final do inverno e início da primavera (de julho a outubro), e retrai-se o máximo para o sul cerca de fevereiro e março, com a maior possibilidade de descobrir-se uma costa limpa de gelo próximo do fim de fevereiro e início de março (figura 41.22). Na primavera e no verão, a borda do “pack ice” é formada por pequenos flocos e pedaços de gelo, com grandes placas existindo mais para dentro do “PACK ICE”, além da área de ação das ondas. As placas do Mar de Weddell, que derivam ao longo da costa leste da Península Antártica, são onduladas e pesadas, tendo sido sujeitas a fortes pressões, por longo tempo.

Em virtude dos sistemas de circulação atmosférica e as correntes marítimas moverem-se ambos de oeste para leste em torno do Continente Antártico, o principal movimento de gelo nas seções exteriores do “ice pack” também dirige-se para leste, desde que as linhas de movimento não conflitem com a topografia. Padrões de circulação distintos são criados por penínsulas ou golfos que perturbam a forma circular do continente, tais como a Península Antártica (Terra de Graham). Junto às costas do continente (que coincide com a denominada Divergência Antártica) o movimento do “pack ice” é mínimo e, às vezes, para oeste.

O limite norte do “pack ice” do Mar de Weddell varia em até 300 milhas de ano para ano e pode flutuar tanto como 30 milhas por dia. No setor oeste (próximo da Península Antártica) e no setor central o “ice pack” normalmente se estende na direção norte até a Latitude de 60° S, mas retrai-se em direção ao sul até 63° S, em fevereiro e março. O Mar de Weddell é considerado como uma “fábrica de gelo”, provavelmente produzindo muito mais gelo que qualquer outro mar antártico. A corrente costeira na direção norte, ao longo da península antártica, que serve como a periferia do movimento principal no sentido dos ponteiros de relógios, leva para fora uma grande quantidade de gelo. Por isso, as condições de gelo são muito mais favoráveis para operações de navios no lado oeste da península antártica, no Mar de Bellingshausen, que no lado leste da referida península (Mar de Weddell).

– CONCENTRAÇÃO E TAMANHO DO GELO MARINHO

(a) CONCENTRAÇÃO – razão entre a **área de água coberta por gelo** e a área total observada. **Medida em décimos.**

DENOMINAÇÃO	DÉCIMOS COBERTOS POR GELO
ICE FREE	não há
OPEN WATER	menos que 1/10
VERY OPEN PACK	1/10 a 3/10
OPEN PACK	4/10 a 6/10
CLOSE PACK	7/10 a 8/10
VERY CLOSE PACK	9/10
COMPACT PACK	10/10

(b) TAMANHO DO GELO MARINHO –extensão linear do eixo maior do flocos individuais.

BRASH	♢	menor que 2 metros
SMALL ICE CAKES	♢	menor que 2 metros
ICE CAKES	♢	de 2 a 10 metros
SMALL FLOES	♢	de 10 a 200 metros
MEDIUM FLOES	♢	de 200 a 1.000 metros
BIG FLOES	♢	de 1 a 10 quilômetros
VAST FLOES	♢	maior que 5 milhas (10 km)

41.5.2 PREPARAÇÃO DO NAVIO

(a) HÉLICES – em virtude de sua posição, protuberante e saliente em relação ao casco, os hélices são muito vulneráveis a avarias por choque com gelo. Além de serem pouco preparados para resistirem ao choque de objetos sólidos, a rotação dos hélices aumenta a força de qualquer impacto com o gelo, o que acarretará, provavelmente, avarias de todas as pás quando uma peça de gelo entra no arco do hélice. Os hélices convencionais,

construídos de bronze, de força de tensão relativamente baixa, podem ser deformados muito facilmente. As mossas e fraturas resultantes são problemáticas, pois causam um desbalanceamento das forças laterais do hélice (sintoma: VIBRAÇÃO), que pode resultar em avarias nos mancais e desalinhamentos do eixo. Hélices de **aço fundido** (“CAST STEEL PROPELLERS”) são muito melhores para navios operando no gelo, porque suas pás mais fortes resistem mais aos impactos com gelo. Entretanto, antes de instalá-los num navio deve ser determinado se ainda persistirá uma “margem de segurança”, isto é, os hélices não devem ser tão fortes que, quando uma peça de gelo muito pesada se choque com suas pás, vá causar avarias no eixo propulsor ou na engrenagem redutora. Um navio de um hélice oferece mais proteção que um navio de dois hélices, devido à localização do hélice na linha de centro, atrás e por baixo do casco do navio. Outro material indicado para os hélices é **bronze endurecido com manganês** (“MANGANESE HARDENED BRONZE” – BRONZE DE ALTA FORÇA DE TENSÃO). Hélices sobressalentes devem ser levados a bordo. Se os hélices são construídos com pás separadas, assegure-se de que todas as pás sejam intercambiáveis e que tenham sido balanceadas anteriormente. Os planos de docagem devem ser levados a bordo, para o caso de se tornar necessário docar para trocar um hélice. É recomendado o uso de hélices protegidos ou a instalação de proteção para os hélices (aletas defletoras, gaiola de metal ou tubo Kort).

(b) LEMES – um conjunto de lemes reserva ou um leme de emergência deve ser levado a bordo e estar pronto para uso no caso de avaria dos lemes por impacto de gelo. Para prevenir a perda dos lemes, caso eles sejam “degolados” por choque com o gelo, deve ser instalado um fiel para cada leme, constituído por uma seção de amarra pendente da popa e presa na saia do leme. Em navios pequenos, um sistema de gualdropes de cabo de aço pode ser instalado em cada bordo, da popa até a parte de ré dos lemes, para permitir o GOVERNO EM EMERGÊNCIA (através de talhas e cadernais), se o sistema de governo do navio ficar avariado. É recomendável o uso de uma FACA DE GELO (“ICE KNIFE”), que consiste de uma projeção de metal na parte de ré do leme, que o protege do impacto com o gelo quando o navio está dando AR.

(c) VÁLVULAS, TANQUES E OUTROS ACESSÓRIOS – inspecione todas as **aberturas abaixo da linha-d'água** (“UNDERWATER OPENINGS”) enquanto o navio está no dique, antes da operação, assegurando-se de que todas estão desobstruídas e que as **válvulas** trabalham eficientemente. Remova todas as projeções externas que possam ser avariadas por gelo. Teste todos os tanques (óleo combustível, aguada, lastro, etc.) para verificar se há vazamentos. Os porões devem ser totalmente limpos, para evitar avarias nas bombas (entupimentos por detritos ou partículas de gelo). Durante a viagem, todos os espaços (porões, “cofferdams”) que devem estar secos, têm que ser, realmente, mantidos nesta condição. Verifique se existem ralos nas válvulas de fundo. Se houver, devem ser limpos e desobstruídos. Se não houver, devem ser instalados.

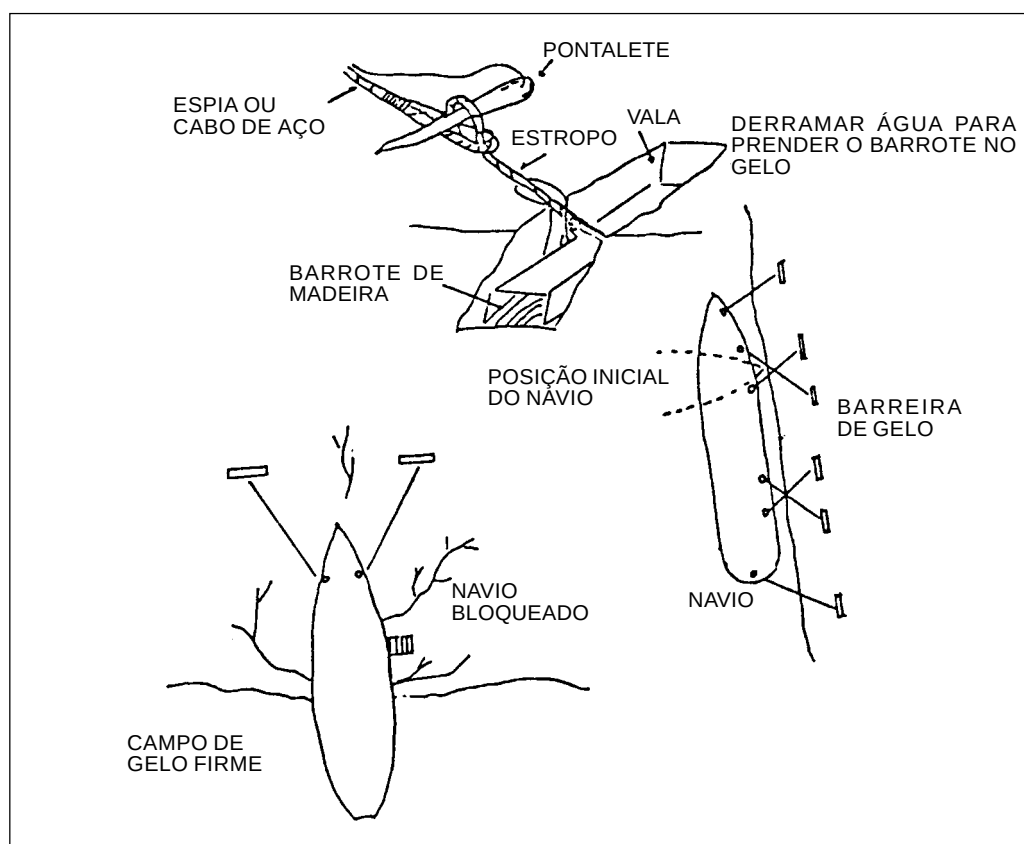
(d) MATERIAL SUPLEMENTAR DE CAV – leve material para tamponamento, bujonamento, escoramento e outros materiais para fazer reparos temporários de furos e vazamentos. Este material consiste de toras de madeira, escoras, pranchões e pedaços de chapa de várias formas e tamanhos, para remendos ocasionais. Ademais, leve também uma quantidade grande de grampos, parafusos, porcas e arruelas de vários tamanhos, lona, cimento de secagem rápida e outros materiais de controle de avarias. Para facilitar, o material de CAV deve ser armazenado próximo do local onde se espera ser necessário o seu uso. Um tamponamento efetivo pode ser feito primeiro controlando o vazamento e, então, reforçando o local com cimento (através de uma moldura de madeira) e mantendo em posição por meio de escoramento. Reforce todos os reparos e remendos com peças

cruzadas. Inclua entre o material de CAV equipamento de corte e solda, acetileno e eletrodos. Adestre convenientemente as equipes de CAV antes da viagem. Drene toda a água da rede de incêndio, para evitar o congelamento, especialmente das tomadas e seções de rede em convés aberto. Providencie material adequado para remover acumulações de gelo e neve dos conveses abertos: marretas de madeira, vassouras, pás, picaretas, raspadeiras e espátulas.

Para amarração do navio ao “PACK ICE”, se necessário, providencie (figura 41.23):

- Estacas ou toras de madeira de 2 m a 4 m de comprimento (pelo menos 12 unidades). São usadas para amarrar o navio ao gelo e são deixadas depois no local, devido a estarem solidamente congeladas no “PACK ICE”;
- estropos de cabo de manilha ou de aço, de 2 m de comprimento e com alças nos dois extremos (usados com as **estacas** acima citadas para amarração do navio ao gelo). Preparar pelo menos 12 estropos desse tipo;
- pontaletes de madeira ou vergalhão, para, também, serem usados na amarração do navio ao gelo; e
- 4 seções de toras grossas de madeira, com fiéis de cabo de aço, para servirem de defensas entre o navio e a borda do gelo, quando da amarração do navio ao “PACK ICE” (ou barreira de gelo).

Figura 41.23 – Amarração do Navio ao “PACK-ICE” ou a Barreira de Gelo



(e) CARGA, MATERIAL DE RANCHO, ITENS DE VESTUÁRIO, REMÉDIOS

– nenhuma carga deve ser estivada contra o costado do navio nos porões. Devem ser arrumadas de forma a deixar acesso livre a ambos os bordos, para o caso de haver avarias ou furos e vazamentos no costado. O rancho deve ser aumentado de 50% acima dos requisitos normais. Além dos medicamentos padrões, deve ser levado, também, um estoque de

vitaminas e manteiga de cacau (para lábios ressecados). Todo o pessoal deverá dispor de óculos escuros, itens de vestuário, calçados e agasalhos adequados.

(f) BATERIAS, OXIGÊNIO, ACETILENO E OUTROS GASES ENGARRAFADOS – as baterias têm que estar sempre totalmente carregadas, com uma solução 25% mais forte que o normal, para evitar que o eletrólito congele nas baterias guardadas. Garrafas de oxigênio, acetileno e outros gases devem ser armazenadas em locais protegidos, pois, se ficarem do lado de fora, uma grande porcentagem do volume será perdida.

(g) QUADROS ELÉTRICOS – devem ser protegidos do frio e da água, para evitar condensação ou penetração de água nos elementos expostos do quadro.

(h) BALSAS SALVA-VIDAS E COLETES – carregue balsas salva-vidas e coletes para 100% da tripulação **em cada bordo do navio**. Esta medida de segurança é essencial, pois o navio pode chocar-se com um bloco de gelo e ficar impossibilitado de usar as balsas e coletes salva-vidas de um dos bordos, sendo necessário dispor desses recursos para toda tripulação no bordo oposto.

(i) EMBARCAÇÕES MIÚDAS – os motores das embarcações miúdas devem ser preferivelmente **refrigerados a ar** ou refrigerados por um sistema fechado, para evitar congelamento. Os hélices devem ser protegidos por aletas defletoras ou gaiola de metal. As embarcações miúdas devem ser providas de croques longos, para afastar o gelo do caminho e de pistola very, caixa de primeiros socorros e kit de reparo. Ponha uma solução “anti-freezing”, como o etileno glicol, em todos os MCI (motores de combustão interna).

(j) TANQUES DE AGUADA – tanques de aguada expostos ou aqueles adjacentes ao costado do navio não devem conter mais de 75% de sua capacidade total (para permitir a expansão, se houver congelamento da água no interior do tanque). Equipe estes tanques com resistências para aquecimento, se possível.

(l) EQUIPAMENTOS DE CONVÉS – todas as espias devem ser guardadas secas, sob cobertura e em locais abrigados, até serem necessárias para uso. Se a maquinária e os equipamentos de convés estiverem cobertos por capas de lona, estas devem ser removidas freqüentemente para que os equipamentos sejam inspecionados, o gelo/neve acumulado seja removido e se certifique que o equipamento está pronto para operar num mínimo de tempo. Deve ser sempre previsto um **tempo de aquecimento** para qualquer equipamento, antes de funcionar com carga. Remova todo o gelo acumulado nos conveses superiores do navio. Além de perigosos para o trânsito da tripulação, eles representam PESO ALTO e, assim, diminuam a ESTABILIDADE do navio. A melhor precaução é não permitir a acumulação do gelo. Na remoção de gelo com marretas de madeira, pás, raspadeiras e espátulas, deve-se ter cuidado para não avariar os equipamentos ou a superfície metálica que está por baixo. Cuidado especial deve ser tomado na remoção de gelo em cabos elétricos e outros mecanismos.

41.5.3 NAVEGAÇÃO EM PRESENÇA DE GELO

a. Sinais de “Icebergs”; Manobras do Navio Frente a “Icebergs”

Cerca de 93% de todos os blocos de gelo à deriva no mundo estão concentrados no Hemisfério Sul, na Antártica e nos mares adjacentes.

A presença de “icebergs” **não é uma indicação da proximidade de gelo marinho (“pack ice”)**, pois os “icebergs” **podem estar a centenas de milhas da borda do “ice pack”**.

Mantenha uma ampla distância de “icebergs”, pois eles podem ter esporões submersos projetando-se a dezenas de metros, ou poderão emborcar, trazendo perigo ao navio. Não se aproxime a menos de 500 jardas.

Não é possível estabelecer uma norma definida quanto a se um “iceberg” deve ser ultrapassado por barlavento ou por sotavento. É necessário analisar, para cada caso, os diversos fatores envolvidos: intensidade e direção do vento, rumo e velocidade da corrente (que é o fator predominante na deriva dos “icebergs”), espaço para manobra (considerando a presença de outros blocos de gelo, a existência de perigos à navegação, a profundidade do local, etc.), condições de manobrabilidade do navio, reserva de velocidade disponível, etc. Passando “por trás” dos blocos de gelo maiores (deixando-os a sotavento do navio) vai-se navegar numa região que pode conter destroços desgarrados do bloco. Deixando-os a barlavento, isto é, passando “à frente” deles, navega-se em uma área limpa. Na dúvida, entretanto, é preferível deixar o “iceberg” a sotavento.

Qualquer restrição séria à visibilidade, como nevoeiro ou cerração, quando o navio está numa área onde é esperada a presença de “icebergs” ou de gelo marinho, requer que a velocidade seja reduzida.

Normalmente os “icebergs” produzem um bom eco radar, pois sempre apresentam uma face angulosa ou alguma ondulação, que proporcionam um retorno substancial. Já a detecção do gelo marinho (“pack ice”) depende do estado do mar, da banda de frequência empregada, da experiência do operador e da quantidade de gelo na vizinhança. É importante manter o radar calibrado e nas melhores condições de eficiência de operação. Além disso, os operadores devem estar bem adestrados. Todos os “icebergs” no setor avante do navio devem ser individualmente identificados e continuamente plotados, tendo a **direção**, a **velocidade** e o **PMA** de seus deslocamentos determinados. A plotagem evitará confusão de alvos quando o navio estiver navegando através de uma área com grande concentração de “icebergs”. Ademais, servirá para distinguir os “icebergs” de ecos de outros navios deslocando-se na área.

Indicações de que um “iceberg” pode estar na vizinhança são:

- Súbita melhoria do estado do mar;
- presença de pedaços de gelo menores (“berg bits” ou “growlers”);
- o som das ondas quebrando na base do “iceberg”;
- a visão de um clarão esbranquiçado; e
- algumas vezes, os gritos de aves marinhas que estão voando ao redor do “iceberg”.

O surgimento de escombros de gelo indica a possibilidade de existência de blocos de maior tamanho, em especial “icebergs”, provavelmente a barlavento. Os “icebergs” derivam com a corrente. Considerar que, no Hemisfério Sul, quando o vento sopra com uma certa intensidade e persistência, a corrente de deriva produzida se desenvolverá em uma direção 45° para a esquerda com respeito à direção do vento. Já os campos de gelo marinho derivam, conforme visto, geralmente por efeito do vento.

Em áreas onde é esperada a presença de “icebergs” ou de gelo marinho, é importantíssimo dispor de vigias, especialmente em períodos de baixa visibilidade. Os vigias devem ser postos na proa e em pontos altos do navio, devendo estar convenientemente protegidos por roupas de frio. Devem ser corretamente instruídos sobre seus deveres e sua importância e ser substituídos a intervalos não maiores que 30 minutos, normalmente. De fato, navegando em presença de gelo a vigilância visual é fundamental. O olho humano ainda é o melhor sensor para detecção de gelo no mar.

Em áreas de “icebergs” e gelo marinho, se o navio dispuser de uma estação de controle elevada (“ninho de pega”), que tenha a mais ampla visibilidade possível, o governo e a manobra devem ser transferidos para tal posição.

Os “icebergs” (témpanos) podem dar ao navegante indicações muito úteis para a **navegação costeira** nas zonas em que estão presentes, tais como:

- Nunca navegar entre a costa e um témpano parado em frente, pois existem possibilidades de haver um alto-fundo, uma restinga ou uma cadeia de recifes (onde o témpano está encalhado) entre ele e a costa;
- uma costa livre de glaciares, à qual estão agregados muitos témpanos, normalmente é uma **costa profunda**, livre de perigos;
- uma acumulação de témpanos ao largo (afastados) de uma costa é indício da existência de alto-fundo (onde estão encalhados); e
- uma baía sem glaciares em cujo interior encontram-se témpanos geralmente tem o acesso livre de perigos (é profunda).

b. Sinais de Gelo Marinho (“Pack Ice”)

A proximidade de gelo marinho é indicada pelo **clarão-de-gelo** ou **resplendor de gelo** (“iceblink”), que é um brilho amarelo esbranquiçado na parte inferior de uma camada de nuvens baixas, produzido pela luz refletida pela superfície coberta de gelo (“pack ice”). Outros sinais são a presença de bruma ou “fog” (nevoeiro), aves e vida marinha, queda na temperatura da água do mar, aparecimento de fragmentos soltos de gelo e melhora do estado do mar (principalmente quando o vento sopra dos campos de gelo).

A visão do “iceblink” no horizonte serve como uma indicação de que o “pack ice” está naquela direção. Em dias claros, em que o céu está azul, o “iceblink” aparece como um **nevoeiro amarelo brilhante** sobre o horizonte, sendo mais brilhante nas camadas inferiores e gradualmente tornando-se mais escuro, em direção ao tope. A altura do “iceblink” depende da proximidade do navio ao gelo: quanto mais alto mais próximo está o gelo.

Se o navio está a sotavento do “ice pack”, haverá uma melhora notável do estado do mar, pelo efeito “calmante” do gelo sobre o mar.

Nevoeiros espessos podem indicar a borda do “pack ice”, devido à condensação da umidade do ar mais quente, quando este encontra o ar frio que está sobre o gelo. Uma temperatura da água do mar de $-1,1^{\circ}\text{C}$ normalmente indica que a borda do “pack ice” está a não mais de 50 milhas de distância. Também, a presença de aves marinhas (pinguins e albatrozes) são indicações da proximidade do “pack ice”, conforme acima mencionado.

O primeiro sinal concreto de congelamento tem lugar quando o mar toma uma aparência oleosa. Posteriormente surgem retalhos de gelo separados e, finalmente, estes aderem uns aos outros, formando uma camada aparentemente contínua.

c. Aproximação e Entrada no “Pack Ice”

Ao aproximar-se de uma área de “pack ice”, o navio deverá estar com TRIM DE POPA, para proteger os lemes e hélices de gelo flutuante semi-submerso. Embora um trim de proa acrescente mais peso na parte de vante do navio, resultando no aumento de sua capacidade de quebrar gelo duro (quando a proa choca-se com o bloco, quanto maior o

peso maior será a sua pressão sobre o gelo), as desvantagens que traz, deixando lemes e hélices mais vulneráveis às avarias por gelo e fazendo com que o navio não responda tão bem ao leme, recomendam que o NAVIO TENHA TRIM DE POPA (cerca de 3 pés de TRIM DE POPA).

Quando se avista gelo no mar pela primeira vez, normalmente o “pack ice” aparece como uma cobertura total, contínua e impenetrável. Logo, entretanto, descobre-se que o “pack ice” é formado não de uma camada contínua, mas sim de peças separadas, entre as quais pode ser possível o navio passar.

Com um **vento fresco soprando da costa**, pequenos flocos de gelo marinho tendem a acelerar mais que os flocos maiores. Como resultado, o surgimento de fragmentos isolados de gelo indicam o aumento gradual da concentração, antecipando a presença de flocos maiores e da borda do “pack ice” adiante. Por outro lado, um período razoável de **vento na direção da costa** (vento soprando do mar para a costa) traz como resultado uma borda definida de gelo pesadamente concentrado adiante. Nestas condições, blocos grandes e isolados também são prováveis de aparecerem no radar do navio.

Grande cuidado deve ser tomado na escolha do ponto de entrada no “pack ice”. A pior condição existe quando um vento forte sopra na direção do campo, causando oscilações dos blocos de gelo para cima e para baixo com a ação das ondas. Nesta situação, um choque com o navio causa um efeito extremamente perigoso, possível de romper o casco. Antes de entrar no “pack ice” deve ser feito um reconhecimento tão completo quanto possível, através de vigia e radar, ou helicóptero, procurando uma brecha no gelo, pela qual o navio possa entrar no campo. Na escolha do ponto de entrada, então, devem ser evitados os lugares onde existam evidência de “gelo de pressão” (blocos amontoados e corrugados), escolhendo-se trechos onde existam “bandejeões” pequenos e separados.

A **borda do gelo** não é uma linha reta e contínua. Em vez disso, ela consiste de muitas saliências e reentrâncias na sua periferia. Entre numa reentrância, para proteger-se do mar. Prossiga através do “pack ice”, evitando choques com os flocos de gelo, em baixa velocidade e em zigue-zague, mesmo que o progresso não seja na direção geral da sua derrota, até que o efeito do gelo marinho tenha acalmado a superfície do mar.

Então, um rumo mais direto pode ser tomado, mas sempre adotando a premissa que é melhor proceder através de água livre de gelo, mesmo que seguindo um caminho mais longo, do que navegar mais diretamente através de gelo concentrado.

Dentro do “pack ice”, a menor distância entre dois pontos não é, normalmente, o melhor caminho entre eles. Devem ser selecionadas aberturas e áreas livres no gelo por onde navegar, mesmo que elas não estejam sobre o rumo base da derrota prevista.

Entretanto, este procedimento deve ser adotado com cuidado, pois pode levar o navio a navegar em círculos, sem progredir, ou mesmo progredir na direção contrária à da destinação pretendida. Por esta razão, uma boa regra é não seguir aberturas ou áreas livres que divirjam de mais de 45° do rumo base da derrota.

Nunca entre no “pack ice” quando houver pressão ou quando os flocos estiverem fechando rapidamente em torno deles mesmos. Se as condições forem desfavoráveis para a entrada no gelo, devido à elevada concentração ou ao mau estado do mar, é melhor esperar a mudança das condições. O “pack ice” normalmente é dispersado por uma mudança de maré, de vento ou melhoria do estado do mar. Lembre-se que aberturas no “pack ice” tendem a surgir nas preamares e fechar nas baixa-mares.

d. Navegação no “Pack Ice”

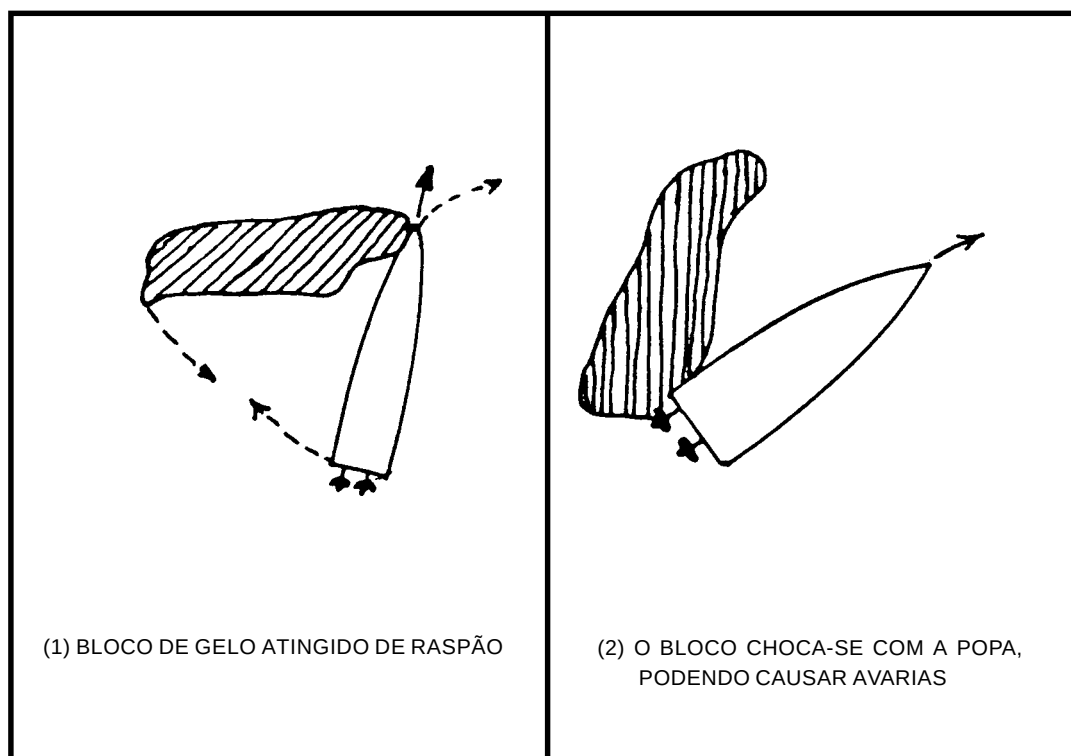
Na navegação em um campo de gelo, deve-se ter sempre presente que é necessário que o navio se mantenha em movimento, sem perder seguimento adiante, trabalhando sempre com o gelo, e nunca contra ele. A solidez do gelo e os riscos para a navegação nunca devem ser subestimados. As regras e lembretes abaixo, derivados da prática, podem ser muito úteis.

Um navio convencional não foi feito para navegar no gelo. Desta forma, qualquer contato com blocos de gelo deve ser feito na menor velocidade possível. Todas as oportunidades de proceder através de áreas livres ou com concentrações mínimas de gelo devem ser aproveitadas, embora estas rotas sejam, muitas vezes, mais longas que as derrotas mais diretas através do gelo.

De início, proceda em velocidades baixas quando no “pack ice”. Posteriormente, após estimar a condição do gelo e a maneira como o navio reage a ela, a velocidade pode ser um pouco aumentada.

Se for necessário contacto com um bloco de gelo, nunca impacte **de raspão**, pois isto jogará a proa do navio na direção da menor resistência, com possibilidade de girar a popa na direção do gelo e avariar hélices e lemes (figura 41.24). Em vez disso, rume o navio perpendicularmente ao bloco de gelo, com a proa apontando para o ponto de ataque (seção mais fraca do gelo) e com baixa velocidade. Quando em contacto com o gelo, aumente a potência da máquina e tente empurrar o gelo para o lado, tal que, quando o bloco começar a se mover, a velocidade possa ser reduzida, para o gelo passar safo.

Figura 41.24 – Possibilidade de Avaria por Impacto de Raspão com Bloco de Gelo



Para progredir através do “pack ice”, deve-se proceder lenta e deliberadamente. Um pequeno floco de gelo sólido pode ser encontrado e usado como “aríete” ou como “defensa” pelo navio, para abrir caminho no gelo. A proa do navio deve ser colocada

perpendicularmente contra o bloco, cautelosamente e, quando assentada, deve ser aplicada potência lentamente, até cerca de um terço adiante. Com sorte, o navio poderá mover-se avante uma boa distância, antes que este aríete colapse e afaste-se do caminho do navio. Aí, será necessário escolher outro floco.

Se a densidade do gelo é tal que o navio se vê obrigado a diminuir muito seu seguimento e a efetuar freqüentes guinadas, pode surgir o perigo de aproximar-se de “icebergs” que naveguem em sentido contrário, por efeito da corrente. Além disso, deve ser sempre mantido em mente que, ao reduzir a velocidade, o efeito do leme também diminuirá, e o navio não obedecerá ao timão, mas sim às máquinas.

Se condições pesadas de gelo travam totalmente o navio, o leme deve ser colocado a meio e os hélices adiante devagar. As correntes de descarga dos hélices manterão a popa livre de gelo, de modo que o navio poderá finalmente dar atrás para iniciar outra tentativa de prosseguir adiante.

Nunca deve ser usado todo o leme, exceto em emergência, pois, quando o leme está todo carregado, ele gira a popa contra o gelo, com possibilidade de avarias em hélices e nos próprios lemes. Em vez disso, procure prever com bastante antecedência as guinadas e mudanças de rumo, que devem ser feitas vagarosamente, levando em consideração o que pode ocorrer se houver gelo na parte de fora da guinada (para onde vai a popa).

Se, apesar de todas as precauções, o navio ficar preso no gelo, tente usar o seguinte método para livrá-lo:

- DÊ MÁQUINAS ATRÁS TODA FORÇA;
- SE ISTO FOR INEFICAZ, DÊ LEME PARA UM BORDO E DÊ MÁQUINAS ADIANTE TODA FORÇA;
- CARREGUE O LEME PARA O BORDO OPOSTO E DÊ MÁQUINAS ADIANTE TODA FORÇA, DE NOVO;
- CARREGANDO ALTERNADAMENTE O LEME PARA UM BORDO E PARA OUTRO E DANDO ADIANTE TODA FORÇA, É MUITAS VEZES POSSÍVEL OBTER QUE A POPA SE MOVA UM POUCO PARA UM BORDO, DE MODO QUE A PROA MUDARÁ LEVEMENTE SUA ORIENTAÇÃO;
- DÊ, ENTÃO, MÁQUINAS ATRÁS COM LEME A MEIO, PARA LIVRAR O NAVIO DO GELO.

Se tudo isto falhar e se a pressão no “pack ice” crescer até um ponto tal que as tentativas para livrar o navio possam apenas resultar em avarias ou consumo inútil de combustível, a melhor decisão a tomar é assegurar-se de que o navio permaneça num local tão favorável quanto possível, para evitar avarias da pressão de gelo e para estar pronto para sair quando as condições mudarem para melhor e ESPERAR QUE AS CONDIÇÕES MELHOREM. Com o navio preso no gelo, procurar, se for possível, manter a proa apontando para uma área livre.

Durante “fog” (nevoeiro), escuridão ou qualquer outra condição de baixa visibilidade, é muito melhor parar e esperar a melhoria da visibilidade do que prosseguir. As aberturas no gelo e as condições de concentração do “pack ice” são difíceis de observar quando a visibilidade é restrita e o navio pode terminar numa área em que o gelo seja desfavorável.

Nos períodos de escuridão, os holofotes devem ser usados. Um método excelente é manter um holofote focado diretamente para vante do navio, enquanto outro deve ser

coniteirado para os bordos, alternadamente, para revelar a situação geral do gelo. A instalação de um holofote na proa é, também, altamente recomendável, para detecção de gelos tipo “growlers”, que não aparecem no radar.

A causa mais provável de avaria quando o navio está preso no gelo decorre do choque de uma ponta de bloco de gelo, ou de um pequeno bloco, com o casco, os lemes ou hélices. Para prevenir isto, deve ser feito um esforço para distribuir a pressão do gelo sobre o casco da maneira mais uniforme possível. Isto pode ser conseguido assegurando-se de que apenas flocos de gelo grandes ou médios circundem o navio e que encostem uniformemente contra o costado. Deve-se tentar retificar as irregularidades do gelo (através de croques, adição de neve ou de outros pedaços de gelo e água), de modo que o navio fique dentro de uma espécie de dique de gelo.

Quando preso no gelo, o exercício da paciência é fundamental. Nada pode ser feito para que navio progrida até que as condições de gelo ou as condições meteorológicas mudem. Uma tática de “resistência passiva” deve ser adotada. Conserve combustível e economize as máquinas. Faça os reparos e ajustagens necessárias. Evite que o desespero tome conta da tripulação, mantendo-a tão ocupada e tão informada quanto possível. Nada é tão destrutivo para o moral da tripulação como espalhar boatos. Espere. As condições vão mudar e o navio vai poder safar-se do gelo.

Durante a navegação no “pack ice”, todos os parafusos de fixação dos MCP nos jazentes e os mancais dos eixos de propulsão devem ser freqüentemente inspecionados, para verificação de folgas causadas pelos choques com blocos de gelo.

Os **controles das máquinas** devem estar sempre guarnecidos e estas devem ser paradas e desengrazadas sempre que for observado um bloco de gelo aproximando-se dos hélices. Os blocos de gelo mais perigosos são os de **cor azul**, que significam gelo velho, pesado e muito compacto.

Um timoneiro experiente é de grande ajuda quando navegando em presença de gelo, particularmente quando as condições requerem mudanças freqüentes de rumo. O governo deve estar sempre em **MANUAL** e o timoneiro num banco alto, de modo que possa observar os blocos de gelo na proa e antecipar as ordens do Oficial de Serviço. Muitas vezes, é melhor governar em rumos práticos, dando ao timoneiro liberdade de fazer pequenas manobras, de modo a desviar-se do gelo.

Navegando em presença de gelo é importante lembrar que, sempre que o navio operar máquinas atrás, o leme deve estar a meio, a fim de evitar avarias nos lemes ou no sistema de governo. Com o leme a meio (especialmente se dispuser de “ice knife”) ele suportará melhor os choques e colisões com o gelo.

O navegante deve buscar sempre o melhor caminho (o mais livre de gelo) no “pack ice”, trabalhando com máquinas e lemes constantemente e procurando deixar sempre a popa livre de gelo. Ao sentir que o canal aberto pelo navio está muito estreito, havendo perigo de aprisionamento pela pressão dos gelos (impulsionados pelo vento), deve-se ir fazendo uma espécie de zigue-zague, para alargar o canal. Navegando em campo de gelo é fundamental nunca perder a capacidade de manobra (a manobrabilidade do navio no campo reduz-se mais ou menos 50%).

Os campos de gelo com predomínio de lagunas, ou “polynyas”, aberturas de forma não linear, que podem conter pequenos fragmentos de gelo flutuante e podem ser cobertas por gelo jovem, de formação recente, são aptos para se navegar e são reconhecidos facilmente pelo céu de água (manchas escuras refletidas nas nuvens baixas). Normalmente,

as lagunas estão unidas por canais. A experiência ensina que é preferível seguir navegando num campo de gelo de pequenas lagunas, do que internar-se em uma série de lagunas maiores rodeadas de “bandejeões”.

Se a concentração do campo de gelo é superior a 8/10, com baixa visibilidade ou à noite, é aconselhável não avançar, pois o navio poderá chegar a zonas de onde não pode sair. Neste caso, não é conveniente deixar o navio imóvel no gelo, mantendo-o constantemente com pequenos movimentos, para evitar o congelamento em volta do navio.

A esteira do navio deve ser observada quando navegando no “pack ice”. Se o gelo se fecha rapidamente após a passagem, é indício de um provável campo de pressão, que poderá aprisionar o navio. Avançando por um canal sinuoso num campo de gelo, ao presenciar que a ponta de um floco de gelo (“bandeirão”) pode tocar o costado, com risco de avaria, deve-se investir sobre ele com a roda de proa, partindo-o.

É comum, quando se navega em zonas de muito gelo, a manobra do navio absorver toda a atenção do Comando. Por causa disso, é necessário alertar que, em regiões de altos-fundos, não se deve descuidar da posição do navio e das indicações do ecobatímetro. Se possível, deixar um oficial a cargo da navegação nestas ocasiões. Conforme mencionado, em tais condições é prudente manter dois Oficiais de Quarto (um encarregado da manobra no gelo e outro responsável pela navegação).

Em virtude de o vento ser o fator preponderante, que causa a maior ou menor acumulação de gelo no “pack ice”, deve-se ser capaz de prever razoavelmente a mudança das condições de gelo através da interpretação das cartas e previsões meteorológicas, onde deve ser prestada especial atenção à velocidade e direção do vento. O caminho das baixas é bastante consistente numa determinada área. Por esta razão, um conhecimento ou previsão do movimento das depressões torna possível determinar onde as mesmas vão passar com relação ao navio e que mudanças no vento elas acarretarão. No Hemisfério Sul, o vento gira em torno de uma baixa no sentido horário, formando um ângulo de 10° a 20° com as isóbaras à superfície e sendo tão mais forte quanto mais próximas forem as isóbaras. A velocidade do **movimento do gelo** (“rate of ice drift”) causado pelo vento pode ser estimada em cerca de 1/50 da intensidade do vento, numa direção, na Antártica, para a esquerda da direção do vento, aproximadamente paralela às isóbaras.

Quando o navio está no gelo, se o verão não estiver avançado, alguma mudança para melhor irá finalmente ocorrer. A disposição e a densidade do “pack ice” mudam de dia para dia e mesmo de hora para hora. Estas mudanças **dependem principalmente do vento**, com exceção daquelas devidas aos efeitos da maré. Entretanto, para produzir o aumento da pressão e da concentração do “pack ice” não é necessário um vento local, pois isto pode resultar de um vento distante, de modo que o movimento do gelo parecerá misterioso. A resposta pode estar na interpretação da Carta Meteorológica da **área local** com relação à **área geral**.

Ao navegar em presença de gelo, o navio deve estar **totalmente lastrado**, para alcançar seu **calado máximo** e com trim de popa, do que resultará maior proteção para os hélices e lemes contra gelo flutuante e semi-submerso.

No que se refere ao uso do “bow thruster” quando navegando em presença de gelo, ele deve ser muito cauteloso, em virtude da alta probabilidade de avaria. O “bow thruster”, entretanto, tem utilidade, pois sua corrente lateral de descarga é usada para afastar os cacos de gelo dos bordos do navio, enquanto ele progride no “pack ice”. Só deve, entretanto, ser empregado quando o gelo for de baixa concentração e densidade.

Embora as previsões de gelo (“ice forecasts”) sejam pouco precisas, qualquer previsão é melhor do que nenhuma. Os “ice broadcasts” normalmente incluem:

- COBERTURA DO “PACK ICE”, EXPRESSA EM DÉCIMOS EM RELAÇÃO À ÁREA TOTAL; OS LIMITES DA ÁREA SÃO DADOS EM COORDENADAS GEOGRÁFICAS;
- ESPESSURA DO “PACK ICE”;
- PRESENÇA DE “ICEBERGS” (“MANY” or “FEW”);
- PREVISÃO DA TENDÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE GELO;
- ROTAS RECOMENDADAS PARA TRÂNSITO DE NAVIOS.

Navegando em presença de gelo, deve-se aprender a distinguir manchas brancas e escuras na camada inferior das nuvens. As manchas amarelas ou esbranquiçadas são causadas pela reflexão do gelo (“iceblink”). Água livre de gelo reflete uma mancha escura (“water sky”). Se rumarmos em direção à mancha escura mais alta no céu, estaremos rumando para a área mais próxima livre de gelo. O radar também auxilia a detectar áreas livres de gelo (“open leads”). Estas áreas são indicadas pela ausência de PIPs na tela.

e. Operação de Embarcações Miúdas em Presença de Gelo

- O uso de salva-vidas deve ser permanentemente obrigatório, tanto para a tripulação, como para os eventuais passageiros.
- Mantenha baixa velocidade e manobre de modo a evitar choques com qualquer bloco de gelo.
- Use o croque para afastar blocos de gelo do caminho da embarcação.
- Há sempre uma tendência do patrão de lancha de relaxar estas regras, principalmente após observar que, aparentemente, nada de sério acontece após uma colisão com gelo; entretanto, o patrão deve ser endoutrinado para evitar sempre colisões com gelo flutuante.
- Coloque um vigia na proa da embarcação, para avisar o patrão da presença de gelo flutuante e de blocos semi-submersos.
- Aqueça o motor da lancha lentamente; após usá-la, drene totalmente a água que está no motor, para que não congele lá dentro; mantenha os tanques de combustível totalmente cheios, para evitar a condensação e o subsequente congelamento de água no combustível; mantenha a bateria permanentemente carregada, em condição de plena carga; mantenha os porões da lancha absolutamente limpos e secos; retire os bujões após içar a lancha, para que os porões sejam completamente drenados; recoloque os bujões e fixe-os adequadamente antes de arriar a embarcação.
- Guarneça a lancha com extintor, equipamento de comunicações (teste antes), pirotécnicos, agasalhos para o pessoal, coletes salva-vidas, caixa de primeiros socorros e croques com cabos longos (para afastar blocos de gelo do caminho da embarcação).
- Quando abicar em terra e for demorar, se possível empurre a embarcação para terra ou leve-a para um local abrigado, pois o tempo pode virar muito rapidamente e surgirem ventos fortes e gelo em movimento.
- Para amarração da embarcação em pedras (praias pedregosas ou costões rochosos) pode-se usar o método sueco: o cabo de amarração é atado a um pequeno “T” metálico assimétrico com um olhal na ponta; o “T” é introduzido em uma pedra e girado,

proporcionando grande poder de fixação. O método requer cuidado, pois há perigo da fenda alargar-se e partir com o esforço, em virtude das grandes tensões nas rochas, onde água e gelo se infiltram a cada ano, expandindo as fendas e fazendo com que as rochas se partam linearmente.

– O navio nunca deve pernoitar com embarcações miúdas na água (a contrabordo ou no pau de surriola); todas as lanchas e botes infláveis devem ser içados ao fim dos trabalhos do dia.

f. Reboque no Gelo

Em presença de gelo o cabo de reboque deve ser curto, para manter o navio rebocado próximo do rebocador, a fim de evitar que blocos de gelo ocupem o espaço entre os dois. É melhor usar ambas as amarras do navio rebocado como cabresto do reboque (“towing bridle”), de modo a prover algum peso à curta catenária. Use um cabo de reboque de 50 a 100 metros. Utilize o leme do navio rebocado, para mantê-lo exatamente na esteira do rebocador e, se possível, mantenha as máquinas do navio rebocado de sobreaviso, para evitar que ele se projete sobre o rebocador, se este tiver que parar ou reduzir muito a velocidade repentinamente.

g. Fundeio na Antártica

Em virtude de bons fundeadouros não existirem com abundância na Antártica, há uma tentação compreensível de ser menos exigente na seleção de um ponto de fundeio. Isto, entretanto, é uma prática perigosa, pois nas **regiões polares** alguns requisitos para escolha de um fundeadouro devem ser rigorosamente observados. Os fatores a serem considerados na seleção do ponto de fundeio são:

(1) Qualidade do fundo (tença): na Antártica são comuns fundos rochosos ou de outro tipo de má tença. Algumas vezes, o fundo é de forte declividade ou irregular. Como a natureza do fundo raramente é indicada nas Cartas ou descritas nos Roteiros, uma sábia precaução é colher amostra do fundo e sondar nas vizinhanças, antes de fundear.

(2) Espaço adequado para o giro do navio: este requisito, em particular, é importante nas regiões polares, onde, em virtude de ventos fortes freqüentes e fundeadouros em geral profundos, filames longos são usados costumeiramente.

(3) Proteção contra vento e mar: os ventos na região são extremamente variáveis, tanto em direção, como em velocidade. Mudanças de 180° na direção, acompanhadas de um grande aumento (de mais de 30 nós) na velocidade do vento, podem ocorrer em poucos minutos. Um fundeadouro que ofereça proteção adequada contra o vento é muito difícil de ser encontrado, por isso, os MCP (motores de combustão principal) devem ser mantidos sempre prontos para operar, caso haja ameaça de o navio garrar. Navios com 2 MCP, devem manter um na linha e outro parado, porém aquecido, para virar com facilidade. De 4 em 4 horas, pode-se alternar o funcionamento dos MCP.

(4) Disponibilidade de saída adequada, em caso de condições de tempo extremas: em presença de gelo, é importante manter uma vigilância contínua para prevenir que o navio fique bloqueado no fundeadouro, ou seja avariado por gelos flutuantes. Entretanto, a não ser que o navio esteja sob perigo iminente, normalmente é mais seguro permanecer fundeado, mesmo que se tenha que usar as máquinas para evitar que o navio garre, do que suspender para mar aberto sob forte vento, especialmente na presença de “icebergs” e “growlers” e, sobretudo, durante a noite.

(5) Disponibilidade de objetos e pontos notáveis para determinação e controle da posição de fundeio: este é um requisito importante na Antártica, onde as Cartas Náuticas são pobres e imprecisas. Algumas vezes, é necessário acrescentar na Carta pontos de referência posicionados por radar ou observações visuais.

Outras observações sobre **fundeio em presença de gelo:**

- Inspeção freqüentemente os escovens, ferros e amarras para verificar se não está acumulando gelo no local. Se houver acumulação, remova o gelo para liberar o ferro;

- os postos de fundeio devem ser guarneados com muita antecedência, para assegurar que tudo estará pronto na hora de largar o ferro;

- a máquina de suspender deve estar lubrificada e engraxada com lubrificantes especiais para o frio. Aqueça a máquina de suspender com antecedência, ligando-a e girando-a lentamente, com a coroa desengraxada. Ao engraxar, movimente a máquina de suspender para frente e para ré, alternadamente, para livrar a amarra e os ferros de gelo que tenha se formado no local e para assegurar-se de que o ferro irá realmente largar quando dada a ordem;

- as correntes de maré e os ventos no interior de fundeadouros muitas vezes trazem “bergy bits” (pedaços de “icebergs”, do tamanho de uma casa) e “floebergs” (pedaços flutuantes de gelo marinho) ao encontro de um navio fundeado, havendo perigo real de avaria no navio ou na amarra. Mantenha a máquina e o pessoal de serviço de sobreaviso para a eventualidade de ter que entrar ou folgar a amarra, girar o navio ou mesmo suspender, para sair do caminho do “iceberg”;

- se surgem problemas a toda hora, será melhor suspender e buscar um outro ponto de fundeio, mais seguro. Um período de algumas horas de observação mostrará o padrão de fluxo do gelo no local e indicará os pontos livres desta ameaça;

- por ocasião de ventos fortes, pode ser necessário dar adiante com a máquina, para se manter o navio fundeado;

- quando fundeado, as maiores preocupações devem ser:

- embarcações na água (nunca dormir com embarcação na água); e
- navio garrar (às vezes em meia hora o tempo passa de bom para muito ruim);

- caso as condições recomendem, deve ser adotado um limite de velocidade do vento, a partir do qual o navio deverá suspender e aguardar navegando a melhoria das condições. Por exemplo, quando a pressão cair e o vento alcançar 30 nós, suspender imediatamente;

- quando fundeado, o navio deverá ter defensas prontas no convés para proteger contra choques com blocos de gelo flutuantes. Deverá, também, ter croques com cabos longos, para afastar do costado blocos de gelo menores que se aproximam do navio;

- de modo geral, considera-se que o navio poderá fundear em campos com cobertura de até 6/10 ou 7/10; se a concentração de gelo for superar a 7/10, o fundeio é perigoso e deve ser evitado, pois a pressão do gelo pode partir a amarra ou avariar o casco do navio;

- deve-se fundear com um filame bem grande (8 ou 9 quartéis). Após o navio acomodar, pode-se largar o outro ferro com amarra curta, para suavizar o cabeceio;

- o fundeio em águas antárticas exige muita cautela, pois as cartas náuticas da região não apresentam grau adequado de confiabilidade, carecendo de levantamentos hidrográficos mais detalhados; e

– os fortes ventos que sopram na região exigem constante atenção e vigilância por parte do pessoal de serviço, a fim de que seja detectado, em tempo, qualquer indício de que o navio está garrando, principalmente quando a intensidade do vento passa de 30 nós, com tendência a aumentar. A vigilância da amarra deve ser permanente.

h. Navegação com Mau Tempo

Conforme vimos, o cinturão de mar que circunda a Antártica é o mais tempestuoso do mundo. Assim, o navio que se dirige para a área deve estar completa e permanentemente preparado para navegação nestas condições. O Comandante deve estar bem familiarizado com as técnicas para navegação com mau tempo (capear, correr com o tempo, etc.), além de conhecer o comportamento do seu navio frente aos diversos estados do mar. A tripulação deve conhecer e observar rigorosamente todas as precauções para mau tempo, como, por exemplo, utilizar somente o trânsito interno no navio, ficando proibida qualquer passagem em conveses expostos.

41.6 OBSERVAÇÕES FINAIS SOBRE A NAVEGAÇÃO NA ANTÁRTICA

41.6.1 DERROTAS

Na demanda da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), ou de outro local nas Ilhas Shetland do Sul (ou na Península Antártica), é conveniente adotar uma derrota bem amarada, deixando as Ilhas Falkland/Malvinas por boreste. Com isto, obtêm-se duas grandes vantagens:

(a) Evita-se o estreitamento maior da Passagem de Drake (ou Estreito de Drake), onde o mau tempo é mais rigoroso; e

(b) evita-se o eixo principal da Corrente das Malvinas, que flui para o Norte (em sentido, portanto, contrário ao do nosso deslocamento) entre as Ilhas Falkland/Malvinas e a costa da Patagônia/Terra do Fogo.

Além disso, tal **derrota** apresenta, ainda, as seguintes vantagens adicionais:

– Evita a tentação de o navio retornar e esconder-se em águas abrigadas (Estreito de Magalhães, Estreito Le Maire, Canal de Beagle, Arquipélago do Cabo Horn, etc.) por ocasião de mau tempo na Passagem de Drake; e

– a distância total da singradura é menor (Rio Grande–EACF: 1.982 milhas por fora das Falkland e 2.041 milhas por dentro das Falkland).

No regresso da EACF ou da Península Antártica e arquipélagos vizinhos, vale a pena voltar por dentro das Ilhas Falkland/Malvinas, para aproveitar o eixo principal da Corrente das Malvinas. Ademais, pode-se escolher melhor, baseado nas Cartas Meteorológicas, o instante de início da travessia do Estreito de Drake.

41.6.2 PLANEJAMENTO

O planejamento, importante em qualquer operação, é vital para o sucesso de missões nas regiões polares, **onde não há margem para erro**.

O primeiro passo é adquirir um conhecimento completo da área de operações. Uma fonte de valor inestimável é a experiência daqueles que nos precederam e o estudo das

condições que se podem antecipar. Estas informações constam de biografias de exploradores, relatórios de operações antárticas anteriores, artigos em revistas e outros periódicos, Manuais de Navegação e Marinharia, Roteiros e livros sobre operações polares.

Além da meteorologia e navegação, tais informações devem abranger, entre outros aspectos, condições de vida nas regiões polares, sobrevivência, gelo, clima e geografia da área.

Na preparação do navio, nenhum item, embora trivial, deve escapar à atenção. Todos os equipamentos devem estar nas melhores condições de operação.

A tripulação deve ser adestrada sobre as peculiaridades e as precauções a serem tomadas nas **regiões polares**. Não assuma que qualquer assunto é de conhecimento do pessoal. Instrua-os em todos os aspectos. Lembre-lhes, até mesmo que, no verão antártico, a questão de horário exige disciplina. Embora o dia se prolongue (cerca de 20 horas de claridade), deve-se dormir o necessário, usando venda para os olhos ou fechando a vigia de combate do camarote ou coberta.

Finalmente, mantenha sempre em mente que, na Antártica, em especial se estivermos em presença de gelo, o maior aliado do navegante é a sua capacidade de esperar a evolução das condições e oportunidades mais favoráveis, quando o tempo vai melhorar ou quando ventos e correntes irão produzir grandes áreas livres de gelo ou com concentração baixa, possíveis de serem atravessadas. Desta forma, no planejamento de uma operação na Antártica **nunca estabeleça uma escala de tempo ou programa de eventos rígido. A flexibilidade na execução do planejamento é condição indispensável ao sucesso da operação.**

As principais fontes de consulta sobre técnicas especiais de navegação e sobre segurança da navegação nas regiões polares (com ênfase na Antártica) são:

(a) Admiralty Manual of Seamanship, Vol. III (1964), publicado por HMSO (Her Majesty's Stationery Office), Grã-Bretanha;

(b) American Practical Navigator – Bowditch (Pub. nº 9), publicado pelo DMAHTC (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center), 1984 Ed. (capítulos XXV – Polar Navigation e XXXVI – Ice in the Sea);

(c) The Antarctic Pilot (Roteiro da Antártica), publicado pelo Hydrographer of the Navy, Grã-Bretanha, 4ª Ed., 1974;

(d) Bureau of Ships Cold-Weather Handbook, NAVSHIPS 250-533-7, Washington, DC, USA (1957);

(e) Cold Weather Handbook for Surface Ships, publicado pela U. S. Navy, 1988 Ed.;

(f) Derrotero Argentino – Antartida y Archipiélagos Subantárticos (H. 207), publicado pelo Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires;

(g) Derrotero de Chile, Vol. VI, 2ª Ed. (1989), publicado pelo Instituto Hidrográfico de la Armada, Chile;

(h) Dutton's Navigation and Piloting, 14ª Ed., 1985, publicado pelo U.S. Naval Institute (capítulo 40 – Polar Navigation);

(i) A Guide for Extreme Cold Weather Operations, publicado pelo Naval Safety Center, NAS, Norfolk, VA, USA (1986);

(j) The Mariner's Handbook, publicado por HMSO, Grã-Bretanha, 5ª Ed. (1979);

(l) Naval Shiphandling, de R. S. Crenshaw Jr., publicado pelo U. S. Naval Institute, 4ª Ed., 1976 (capítulo Polar Shiphandling);

(m) Polar Operations, do Comandante Edwin A. MacDonald, publicado pelo U. S. Naval Institute (1969);

(n) Polar Ships and Navigation in the Antarctic, de J. P. Morley, publicado pelo Scott Polar Research Institute (1963), Grã-Bretanha; e

(o) Sea Ice in the Antarctic, de J. A. Heap, publicado pelo Hydrographic Dept., Grã-Bretanha.

41.6.3 NOÇÕES SOBRE METEOROLOGIA ANTÁRTICA PARA NAVEGANTES

a. Sumário Sobre as Condições Gerais do Tempo

A principal característica do tempo nos mares antárticos é o **cavado circumpolar**, formando um cinturão de baixas pressões que dominam a área entre as Latitudes 60° e 65° S (figuras 41.25 (a) e (b)) ao longo do ano. Depressões (baixas) frequentes movem-se para **E** ou **SE** com cerca de **20** a **30** nós de velocidade na vizinhança deste cavado, resultando em condições de tempo severas e variáveis, onde tempestades (“gales”) são comuns. O tempo é, em geral, frio, nublado e úmido. A precipitação é uma mistura de chuva e neve ao longo da borda norte do cavado, tornando-se neve pura no lado antártico desta zona. A temperatura média varia uns poucos graus em torno do ponto de congelamento (0° C) nessa região.

Figura 41.25 a – Cavado Circumpolar: Isóbaras Médias de Janeiro (EM MB)

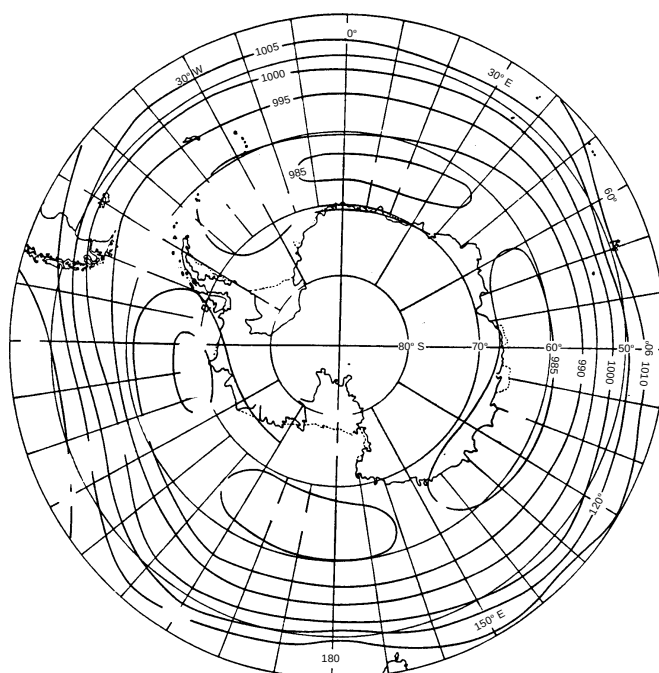
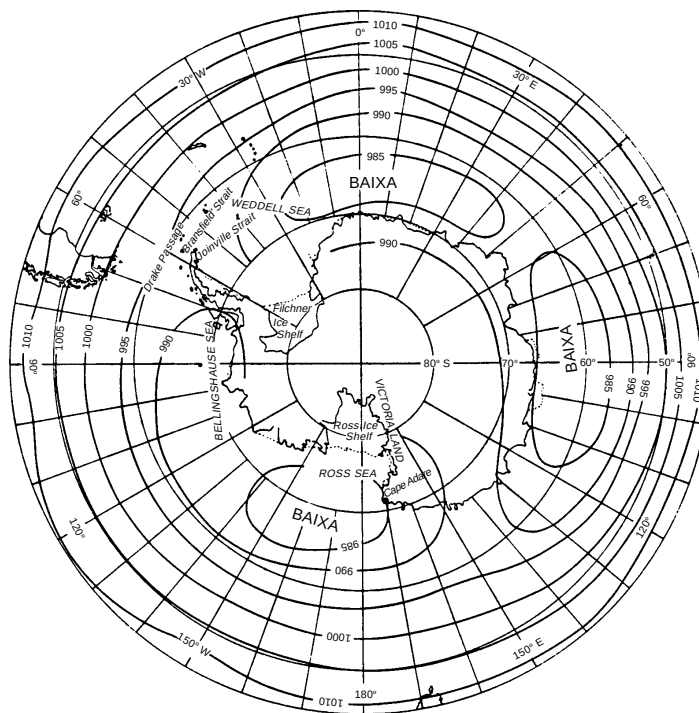


Figura 41.25 b – Cavado Circumpolar: Isóbaras Médias de Julho (EM MB)

Na grande área oceânica ao norte do **cavado circumpolar**, existe um extenso cinturão de fortes ventos com componente oeste (soprando da direção geral **W**), denominado “quarentas rugidores” (“roaring forties”). O tempo aí é, na maioria das vezes, nublado e frio, com chuvas frequentes, ou mistura de chuva e neve, conforme as frentes e baixas movem-se continuamente para E. Períodos breves de bom tempo ocorrem quando uma crista de alta pressão intervém na região.

No lado sul (antártico) do **cavado circumpolar** os ventos têm componente leste (**E** ou **SE**). Quando tais ventos atingem força de tempestade, as condições tornam-se perigosas para navios e pessoal, pois são acompanhados de nevascas, borrascas de vento e neve (ventiscas) e temperaturas extremamente baixas. Tempo tempestuoso permanente prevalece em algumas áreas costeiras, onde os efeitos catabáticos, combinados com afunilamento e deflexão, produzem condições muito severas. A região entre a Terra de Adélie e a Terra de George V tem a reputação de possuir o pior tempo do mundo.

Um fator que contribui para que os ventos tenham velocidades normalmente altas nos mares austrais é que a presença da extensa superfície de água em torno da Antártica exerce um menor efeito de fricção (atrito) em oposição ao movimento do ar, do que ocorreria se houvesse massas terrestres na sua trajetória.

A circulação atmosférica no Hemisfério Sul é relativamente simples, devido à grande percentagem de superfície oceânica, comparada com a área continental (menos de 1/5 do hemisfério é de terra, dos quais 29% estão contidos na Antártica e os 71% restantes basicamente ao norte do paralelo 40° S). Outra característica conhecida da circulação no Hemisfério Sul é a existência do cinturão de anticlones (altas) subtropicais semipermanentes, localizados sobre os oceanos, com seus centros entre as Latitudes de 30° S e 35° S. Estes anticlones deslocam-se para o sul e se intensificam no inverno, influenciando, também, o clima na Antártica.

Ao sul das zonas anticiclônicas, a pressão decresce de forma progressiva, com um forte gradiente, e dá lugar a uma circulação definida e intensa de **oeste**, com predominância de ventos fortes, até o cavado circumpolar, em torno da Latitude 65° S. Ao sul

deste cavado a pressão aumenta, devido às condições anticiclônicas (altas pressões) do continente antártico. A alta polar produz ventos onde predominam as direções leste e sudeste. Conforme se desloca para fora e para baixo (**vento catabático**, causado pela gravidade) do alto platô polar, em direção ao mar que circunda a Antártica, o ar é defletido para a esquerda, pela rotação da Terra (efeito de Coriolis). Os ventos resultantes (Sudestes Polares) permanecem fortes durante todo o ano. Frequentemente alcançam velocidades de furacão (> 64 nós). Com exceção dos ventos de furacão, tufão e tornados, estes são os ventos de superfície mais fortes encontrados no mundo.

A alta polar se deve à existência de ar super-resfriado sobre a Antártica, que é gerado pelo excesso de radiação terrestre, com relação à radiação solar incidente. Consequentemente, toda a calota antártica (sobretudo no seu setor leste) está dominada por um anticiclone permanente, frio e achatado*, cujo centro está localizado em torno da posição J 75° S, L 080° E. Como resultado desta fonte de ar frio permanente e extensa, forma-se uma massa de ar extremamente seca e estável, denominada **Continental Antártica (CA)**.

Esta massa, tanto no inverno quanto no verão, ao mover-se com componente norte, na direção das Latitudes mais baixas e menos frias, modifica suas características ao absorver umidade, aumenta sua temperatura nos níveis inferiores e, portanto, perde estabilidade, num processo que se torna mais significativo ao alcançar as zonas de campo de gelo e águas livres. Nesta última sofre uma transformação moderada, de massa de ar do tipo continental fria e seca, para uma do tipo marítimo, úmida e menos fria, denominada **Antártica Marítima (AM)**, a qual, entretanto, continua mantendo uma identificação básica como massa de ar antártica.

As condições de tempo nas massas de ar antárticas continentais são, normalmente, de céu limpo; as massas marítimas, por sua vez, são, em geral, caracterizadas por céu encoberto por stratus e stratocumulus, com intensas nevadas dentro da zona da frente antártica. Outrossim, a área que se estende desde a região costeira ao limite norte do campo de gelo consolidado, chamada de transição, se caracteriza pelo céu encoberto, ou parcialmente encoberto, com nuvens stratocumulus, com bases mais ou menos altas e precipitações fracas.

Mais para o norte, encontra-se uma grande massa de ar bem definida, a **Subtropical Marítima**, que se estende ao redor do Hemisfério Sul até Latitudes de cerca de 35° S a 40° S. A **frente polar**, onde se desenvolvem as baixas, é a superfície frontal entre esta massa e a **Antártica Marítima**.

A **frente polar** é produto de uma onda instável, quase horizontal, dotada de um movimento de **W** para **E**, formada na superfície (inclinada) de separação entre uma massa de ar polar e uma de ar subtropical. Uma onda instável na **frente polar**, inicialmente estacionária, se amplifica até “quebrar”, gerando, então, um **ciclone extratropical**. Em seguida, o movimento das massas de ar em torno do ciclone desloca a frente polar em diferentes direções: o ramo que se dirige para Latitudes mais baixas constitui uma **frente fria**, e o que viaja em sentido contrário se transforma numa **frente quente**. O ciclone entra, então, no estágio final de evolução, dissipando-se quando um segmento da frente fria alcança a frente quente, no processo de **oclusão**. Nele, o ciclone atinge sua maior intensidade, mas dentro da **frente oclusa** a mistura de ar quente e frio faz desaparecer o contraste de densidade. Assim, a baixa perde sua fonte de energia e se dissipa.

* Como o ar é mais frio e denso, a atmosfera na Antártica é menos espessa que nos trópicos; a troposfera, que nos trópicos está a cerca de 14 km de altura, na Antártica encontra-se a 8 km de altitude.

Assim, os centros de baixa pressão e suas frentes associadas (ciclones extratropicais) se desenvolvem com maior frequência na frente polar, ao sul do sistema anticiclônico subtropical. As baixas têm uma trajetória geral com componente leste (rumo E ou SE) e se aprofundam (intensificam) quando cruzam a convergência antártica. Após alcançar sua intensidade máxima no processo de oclusão, passam a perder intensidade e podem continuar o seu deslocamento para leste, rodeando o continente antártico, ou dirigir-se para SE, para regiões de baixas pressões semipermanentes, tais como o Mar de Bellingshausen, o leste do Mar de Ross, ou o Mar de Weddell (estes dois últimos considerados como verdadeiros “cemitérios de baixas” na Antártica), onde entram em processo de “enchimento” e dissipação. Centros de baixa pressão que possuem movimento com componente **nordeste** são frequentes nas áreas do Estreito de Drake e da Península Antártica.

Nas trajetórias das baixas pelo Estreito de Drake, a depressão diminui de velocidade (devido à barreira natural formada pelo extremo meridional da Cordilheira dos Andes, no sul do continente sul-americano, e a Península Antártica) e seus efeitos duram mais. São bem conhecidas as condições meteorológicas críticas e, em alguns aspectos, singulares que predominam no Estreito de Drake. Além da elevada frequência de temporais associados a depressões e sistemas frontais, há outras características que merecem atenção:

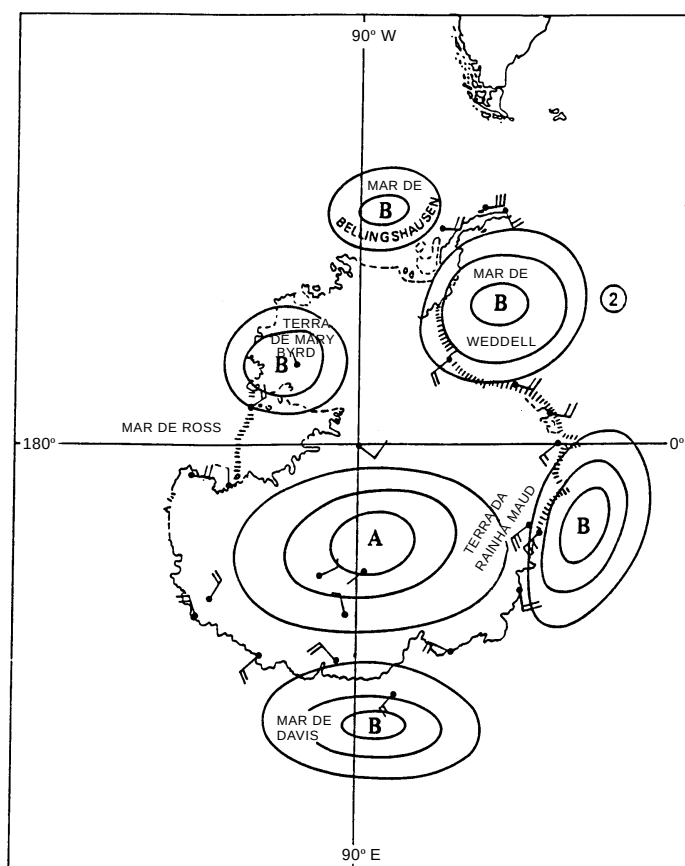
- Os valores máximos da frequência de temporais não se registram nos meses de inverno, mas sim nos meses equinociais; o máximo absoluto corresponde à primavera (setembro), vindo em seguida o outono (março/abril); e

- entre os períodos mais favoráveis para cruzar o Estreito (dezembro/início de janeiro e final de fevereiro/março), verifica-se um aumento notável na intensidade dos ventos (no final de janeiro e início de fevereiro), na grande maioria dos anos.

Uma depressão (baixa) aparece em uma carta sinótica com as linhas isobáricas apresentando uma forma aproximadamente circular, ou oval, em torno de um ponto onde a pressão é a mais baixa. As depressões são responsáveis pela ocorrência de tempestades, ventos duros, mar grosso, nevascas ou aguaceiros. Há, em torno do continente antártico, um número permanente de núcleos de baixa pressão, conforme pode ser visto na figura 41.26. A circulação do ar nos núcleos de baixa, no Hemisfério Sul, é feita no sentido dos ponteiros de um relógio; a direção do vento é ligeiramente inclinada em relação às isóbaras, devido ao atrito na superfície da terra (ou mar). A intensidade do vento é função do gradiente de pressão: quanto mais cerradas as isóbaras, mais forte será o vento.

A pressão mais baixa de uma depressão pode variar de 1.000 a 950 mb. A estação de maior frequência de baixas cruzando o oeste da Antártica é o final da primavera, quando a pressão média cai para 985 mb, ou menos. A maioria das baixas se origina na **frente polar** e se move para leste ou ESE dentro do largo cinturão entre 55° S e 65° S. As baixas normalmente se aprofundam quando estão situadas ao norte do **cavado circumpolar** e depois se enfraquecem (“enchem”) à medida que se aproximam da costa, ao sul do cavado. Algumas baixas penetram no interior da Antártica. O Mar de Ross e o Mar de Weddell são regiões de baixas semipermanentes (“cemitérios de baixas”); muitas das depressões migratórias ficam estacionadas nesta área e são absorvidas pela circulação de baixa pressão já existente.

A velocidade média das baixas nestas Latitudes está entre 20 e 30 nós. O contraste de temperatura entre as massas de ar principais e a distribuição simples de terra e mar na região auxiliam na identificação das frentes e as típicas mudanças de vento, condições de tempo e temperatura são mais distintas e marcadas que em Latitudes mais setentrionais, especialmente nas frentes frias.

Figura 41.26 – Distribuição Média da Pressão na Antártica

A frente polar, onde se originam os centros de baixa, também está associada ao limite de gelo: quanto mais ao norte está o limite da banquisa mais ao norte estará a frente polar. Assim, o desenvolvimento dos ciclones e o subsequente movimento para leste ocorrem em Latitudes menores quando o limite do gelo antártico estende-se mais para o norte que o normal. Os centros de baixa pressão tendem a se desenvolver e persistir sobre as partes do oceano onde existe uma grande variação horizontal de temperatura. Este gradiente de temperatura é maior no limite norte da banquisa.

Além do tempo perturbado associado às baixas mais vigorosas, há freqüentes cavados frontais, principalmente frentes frias, que se estendem por centenas de milhas para norte e noroeste. Em seu movimento para leste as frentes podem provocar súbitas, e muitas vezes violentas, mudanças das condições meteorológicas, e por isto devem ser motivo de atenção para os navegantes. Então, as baixas são, em geral, acompanhadas de frentes, formadas pelo encontro das massas frias das depressões com as massas de ar mais quentes, provenientes de regiões temperadas ou subtropicais. Como o ar quente é mais leve que o ar frio, a massa de ar quente sobe, provocando condensação, formação de nuvens pesadas e escuras e precipitação (chuva ou neve). Às vezes, a velocidade de subida do ar quente é extremamente rápida, e a depressão pode gerar e produzir violentas tempestades.

A velocidade da frente associada a uma baixa é, normalmente, maior que a velocidade da própria baixa, pois a frente tem, também, um movimento de rotação em torno do centro da depressão. Quando as frentes ocluem, as depressões geralmente tornam-se menos ativas, diminuem de intensidade e começam a se dissipar.

A aproximação de uma frente fria é distintamente marcada por típicas mudanças de vento, condições de tempo e temperatura. Antes da aproximação da frente, os ventos mais fortes sopram de N/NW, com céu encoberto e tendência de queda no barômetro. Com

a chegada da frente, a pressão cai, o vento ronda para W/SW e a nebulosidade aumenta. Após a passagem da frente fria, a pressão aumenta e a nebulosidade diminui, assim como a temperatura e a umidade relativa. O vento continua rondando para SW e diminui. Algumas baixas são mais intensas que outras, suas trajetórias variam e há períodos de ventos mais fracos e variáveis entre as depressões. Às vezes, também, a retomada da pressão atmosférica, após uma baixa acentuada, traz um tempo ainda pior que as grandes quedas.

De tempos em tempos, um anticiclone (alta pressão) pode se estabelecer após a passagem de uma frente fria na parte norte dos mares austrais, resultando em um período de bom tempo. Entretanto, a maioria destes anticlones também tem movimento regular para leste, com velocidade de cerca de 20 nós.

b. Ventos Locais e Catabáticos; Jato Frio Inicial

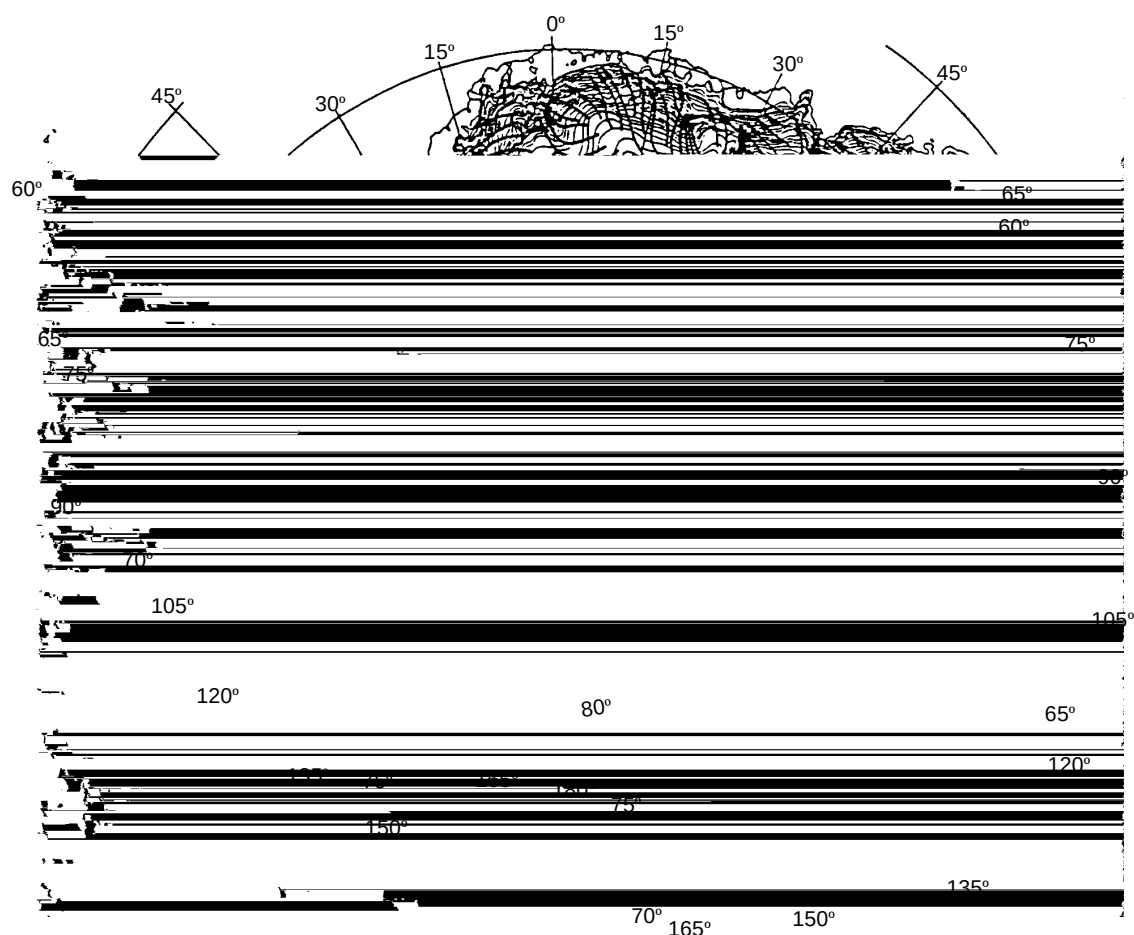
Resta, ainda, mencionar os ventos locais e ventos catabáticos, além do jato frio inercial.

Muitas das características locais dos ventos na periferia do continente antártico se devem à ação de fluxos catabáticos. O platô, coberto de gelo e neve, que desce até a costa de forma escarpada em quase todos os lugares, produz, por perda radiativa, um acentuado resfriamento das camadas inferiores da massa de ar Continental Antártica, que aumenta sua densidade e, então, desce por gravidade, em um processo de constante drenagem na direção da margem do continente (figura 41.27a). Várias geleiras também dão saída a essa massa de ar e, por sua particular configuração, elas frequentemente produzem ventos extremamente violentos. Muitas vezes, o **vento catabático** (local) contraria a circulação sinótica (geral). A persistência das direções **leste** e **sudeste** dos ventos costeiros na Antártica se deve, além da influência do sistema anticiclônico predominante no interior do continente, a fenômenos catabáticos, que sofrem uma forte influência da topografia e da orografia.

Os **ventos catabáticos** são bastante intensos (30 a 50 nós) e muito frios. Em geral, duram apenas algumas horas e não provocam nebulosidade nem precipitações, podendo, assim, ocorrer em período de Sol brilhante. Entretanto, na parte posterior dos sistemas de baixa pressão, os ventos de componente sul intensificam o fluxo catabático, podendo-se esperar velocidades muito altas, da ordem de 60 a 75 nós, com duração de até vários dias. Estes ventos são acompanhados por precipitação moderada a forte, além de nevascas intensas. Nas zonas costeiras, o fluxo catabático apresenta uma marcada variação diurna. No verão, observa-se um máximo bem definido durante a noite e um mínimo durante a tarde; no outono e primavera esta variação não se mostra tão clara, ao passo que no inverno não há uma variação diurna regular. De maneira geral, a zona de influência dos **ventos catabáticos** raramente excede 15 milhas além da linha de costa. Em consequência, um navio poderá estar protegido de sua ação afastando-se a mais de 15 milhas da costa.

Se o navio estiver fundeado, com embarcações miúdas arriadas, por ocasião de um **vento catabático**, convém recolher as embarcações, dobrar a vigilância sobre a amarra ou, se julgado necessário, suspender e dirigir-se para local mais seguro.

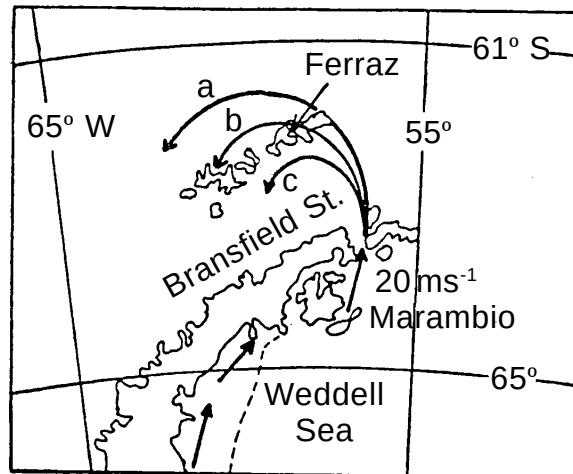
Outro tipo de vento local é causado por fatores geográficos – ilhas ou cadeias de montanhas de elevação regular a grande – que, perante uma forte circulação horizontal de grande escala, com apropriadas condições de estabilidade atmosférica, podem transformar significativamente as características do vento, tornando-o violento, com fortes rajadas.

Figura 41.27 a – Fluxos Catabáticos do Interior do Continente para as Margens da Antártica

A região das Ilhas Shetland tem seu clima e tempo muito influenciados por um fenômeno pouco conhecido e de relativamente pequena escala espacial: o **jato frio inercial**. Trata-se de uma corrente de ar frio, a baixa altura, de tipo inercial, que se origina no lado oeste da Península Antártica e afeta a área do Estreito de Bransfield. A expressão “tipo inercial” significa, no caso, que o movimento do fluxo, uma vez iniciado, é determinado pela força de Coriolis, que resulta da rotação da Terra e, no Hemisfério Sul, desvia o movimento do ar para a esquerda, em relação à superfície. Note-se que os fluxos inerciais não levam em conta a força do gradiente de pressão. Além disso, o mecanismo de disparo do **jato frio inercial** não é o declive, como no caso do vento catabático, mas sim a intensificação do anticiclone no Mar de Weddell e a ocorrência de uma baixa ao largo (a leste). O modelo proposto para as trajetórias do jato frio inercial aparece na figura 41.27b. A massa de ar sobre a água – quase sempre congelada – do Mar de Weddell provoca um aumento da pressão atmosférica e o ar super-resfriado escoar, vindo da direção sul ou sudoeste, formando um vento freqüentemente observado na costa oeste da Península. Através do Estreito Antarctic, a corrente de ar penetra no Estreito de Bransfield. Ao provocar um acentuado giro para a esquerda, o efeito de inércia cria um vento de leste. A trajetória b, que passa sobre a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), corresponde ao inverno, quando o Estreito de Bransfield se congela. O conhecimento do **jato frio inercial** é de grande importância para a compreensão da meteorologia da Península Antártica e arquipélagos próximos. Os ventos de leste, oriundos, na verdade, de massas de ar frio do Mar de Weddell e submetidos às condições do jato inercial, fazem cair a temperatura no extremo norte da península e na área da EACF. O efeito inercial pode ser

deflagrado ou reforçado pela passagem de um centro de baixa pelo Estreito de Drake, mais ao norte, contribuindo, neste caso, para aumentar os ventos de **E** a **SE**, que sopram ao sul da trajetória da baixa.

Figura 41.27 b – Trajetórias do Jato Frio Inercial



- (a) CONSIDERANDO APENAS O EFEITO DE CORIOLIS, SEM ATRITO.
- (b) CONSIDEROU-SE, TAMBÉM, O ATRITO SOBRE O MAR CONGELADO, SITUAÇÃO TÍPICA DO INVERNO LOCAL.
- (c) COM ATRITO SOBRE A ÁGUA.

c. Dinâmica do Deslocamento dos Centros de Baixa Pressão que Afetam as Ilhas Shetland, a Península Antártica e o Estreito de Drake

A área de operações normais do Brasil na Antártica abrange os Estreitos de Drake e de Bransfield, as Ilhas Shetland do Sul, a costa oeste da Península Antártica e o Mar de Bellingshausen, até a Latitude de cerca de 65° S. As condições meteorológicas gerais, em escala macro, prevalentes nessa região, são determinadas, principalmente, por sua localização no eixo ou “cavado” da faixa de baixa pressão subpolar, que contorna o continente antártico e corta a península aproximadamente na Latitude 65° S. A posição média do cavado, por sua vez, está associada às trajetórias dos centros de baixa móveis originados em altas ou médias latitudes.

Além disso, no lado oeste da península, banhado pelo Mar de Bellingshausen, predominam condições oceânicas, com temperaturas mais elevadas e maior precipitação. No lado leste, banhado pelas águas quase sempre congeladas do Mar de Weddell, prevalecem condições continentais e a temperatura permanece muito baixa. Apresentando perfil montanhoso, com altitude média de 1.800 metros, a península serve de barreira parcial aos sistemas meteorológicos, que geralmente apresentam deslocamento de **W** para **E**.

Desse quadro geral, bastante conhecido, deduzem-se algumas características meteorológicas da área em que o Brasil tem operado: o tempo apresenta-se variável (por causa da passagem freqüente de depressões), nebuloso, com índices relativamente altos

de precipitação (incluindo chuva) e temperaturas amenizadas pela influência oceânica. O clima e a temperatura da região também são muito influenciados pelo “jato frio inercial” antes mencionado.

O Estreito de Drake, rota obrigatória, é temido por causa da ocorrência de freqüentes tempestades ciclônicas, que formam ondas de **5, 8** e, excepcionalmente, de até **14** metros de altura. No Drake, durante o verão, ocorre em média um ciclone – geralmente com movimento de oeste para leste – a cada intervalo de dois a cinco dias. Entre dezembro e março, em 26% dos casos os ventos alcançam força 8 (34 a 40 nós), velocidade em que são capazes de levantar ondas de até 7,5 metros. O relativo desconhecimento sobre a dinâmica dos ciclones do Drake torna tensos os três dias necessários à travessia. Imagens geradas por satélites e transmissão de dados a cada três horas não conseguiram, até hoje, tornar tais eventos previsíveis. Tudo se passa como se os padrões de deslocamento, intensidade e distribuição periférica dos ventos fossem, por assim dizer, individualizados; há ciclones com baixíssimas pressões centrais e pouco vento, e há os aparentemente fracos em termos de pressão e virulentos na formação de ventos e ondas; há os de deslocamento rápido e rumo constante, mas também há os que param de repente e mudam de curso.

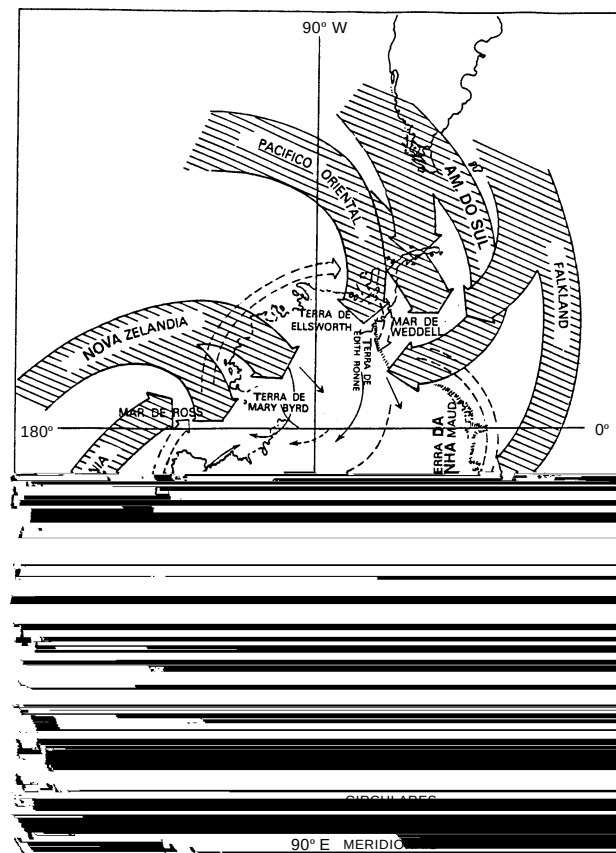
Embora nem todas as mudanças nas condições meteorológicas na Antártica estejam relacionadas a centros de baixa pressão e frentes (principalmente nas regiões interiores), o papel que elas exercem é importantíssimo, em especial na zona periférica e suas proximidades.

A freqüência de formação de ciclones na região é de 12 a 20 por mês. As trajetórias dos centros de baixa que afetam a Antártica se dividem em duas classes: meridionais e circulares. Os centros de baixa meridionais têm origem nas Latitudes subantárticas, suas trajetórias primitivas são de direção oeste–leste, e depois convergem na direção do continente, onde penetram em sua periferia, para encerrar seu ciclo de existência. As baixas circulares nascem ou se formam na borda continental, para depois adquirirem uma trajetória paralela à margem do continente, e raramente o penetram antes de terminarem seu ciclo de atividade. Entretanto, as baixas circulares que nascem nas vizinhanças do Mar de Ross contornam o continente, atravessam a Península Antártica e alcançam o Mar de Weddell, de onde convergem novamente na direção de sua zona de origem, atravessando o platô polar com trajetória leste–oeste. A figura 41.28 representa as principais trajetórias dos centros de baixa pressão.

Freqüentemente, em qualquer época do ano, há centros de baixa pressão cruzando a zona das Ilhas Shetland, da Península Antártica e do Estreito de Drake. Algumas delas são oriundas de Latitudes relativamente baixas e são do tipo meridional; outras têm origem na margem do continente antártico e pertencem ao tipo circular. Porém, seja qual for o tipo de depressão, ao aproximar-se da Península Antártica sofre desaceleração exercida pelo relevo terrestre, o que tem por consequência uma maior duração dos efeitos frontais do lado ocidental.

Considerando-se a trajetória e a origem das baixas que afetam as Ilhas Shetland, a Península Antártica e o Estreito de Drake, podem-se distinguir três tipos clássicos:

- Baixas procedentes de NW;
- baixas com o centro no Estreito de Drake; e
- baixas com o centro ao sul da Península Antártica (Terra de O’Higgins).

Figura 41.28 – Trajetórias das Depressões Meridionais e Circulares que Afetam a Antártica

– Baixas procedentes de NW:

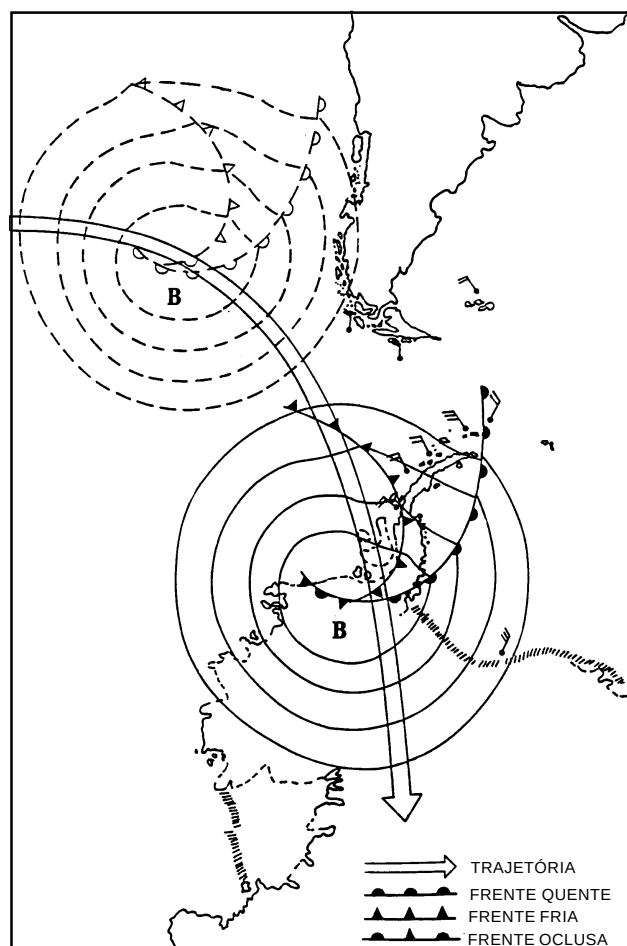
Estas baixas são do tipo meridional (figura 41.29). Sua formação tem lugar no Pacífico austral. Elas assumem uma trajetória para leste, porém, ao se aproximarem da zona dos canais da Patagônia, recurvam-se para sudeste e cruzam o Estreito de Drake, para depois atravessar a Península Antártica, mantendo a mesma direção. As primeiras manifestações da presença destas baixas são registradas na estação de Ilhas Evangelistas (Chile), com queda da pressão e vento com direção norte ou noroeste, de intensidade regular. Porém, estes sinais não bastam, pois podem também tratar-se de baixas que continuam sua trajetória para leste sobre o continente sul-americano, e que apresentam manifestações semelhantes. Este fato se confirma, posteriormente, pela estação de Punta Arenas (Chile). A aproximação das Ilhas Shetland se manifesta por uma sistemática e persistente queda da pressão, com vento de direção nordeste, aumentando a intensidade. Como estas baixas têm origens afastadas desta região, suas frentes quente e fria já estarão próximas, seguindo seu processo evolutivo, e grande parte delas já terá atingido a fase de oclusão.

Os efeitos frontais são chuva, neve ou água-neve. O vento frequentemente alcança 40 nós (força 8), podendo ultrapassar bastante esta velocidade. A visibilidade se reduz e o estado do mar no Estreito de Bransfield toma características de força 6/7. Nem sempre os efeitos frontais alcançam o limite da Baía Margarita; porém, quando isto ocorre, tais efeitos já são enfraquecidos.

Esta é uma situação sinótica relativamente freqüente e configura uma situação ruim para a travessia do Estreito de Drake. No mar, o vento é ainda mais forte que nas

estações de terra de ambos os lados do estreito. Após a passagem da depressão, as condições tornam-se menos desfavoráveis para cruzar o Drake, no sentido N–S (não se deve esperar muito para iniciar a travessia, pois as baixas são freqüentes).

Figura 41.29 – Trajetória das Baixas Procedentes de NW

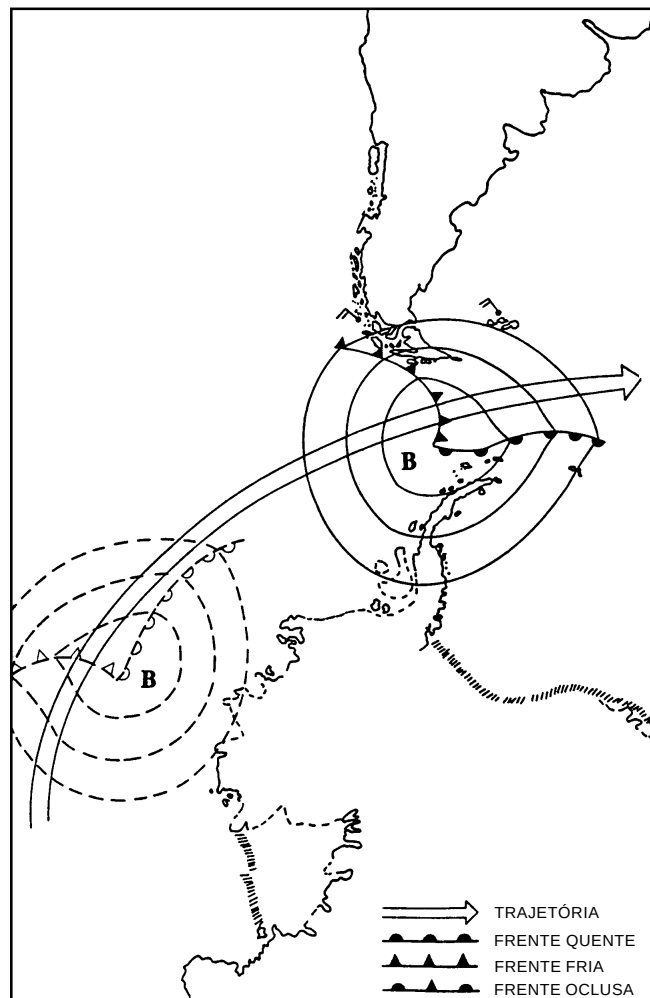


Quando a trajetória da depressão ocorre mais para o norte, sobre o continente sul-americano (ao norte do Estreito de Magalhães), a pressão cai rapidamente nas estações meteorológicas Cabo Raper e Ilha San Pedro, ambas no Chile, mas se mantém em Evangelistas e Diego Ramirez (também no Chile). Além disso, a pressão se mantém relativamente alta na região da Península Antártica. Esta situação sinótica, embora não ocorra com muita freqüência, é favorável para a travessia do Estreito de Drake.

– Baixas com o centro no Estreito de Drake:

Estas baixas são do tipo circular (figura 41.30) e sua extensão é relativamente pequena. De maneira geral, sua margem norte produz efeitos no Cabo Horn. A margem meridional ocasiona mau tempo severo nas Ilhas Shetland, com nevascas e água-neve, efeitos que, em algumas ocasiões, alcançam o Estreito de Gerlache. Por terem formação relativamente recente, suas frentes fria e quente não terão evoluído o suficiente para se aproximarem uma da outra, e cruzam a região das Shetland com um ângulo bastante aberto (“onda aberta”), sem ocluir:

As primeiras manifestações nas Ilhas Shetland são queda de pressão e vento persistente de **NE** e **E**, aumentando de intensidade (pois a baixa passa ao norte da EACF). Na passagem da baixa, o vento ronda para a direita, ou seja, para **SE**, depois para **S** e, em seguida, para **SW**.

Figura 41.30 – Trajetória das Baixas que Cruzam com o Centro no Estreito de Drake

– Baixas com o centro ao sul da Península Antártica:

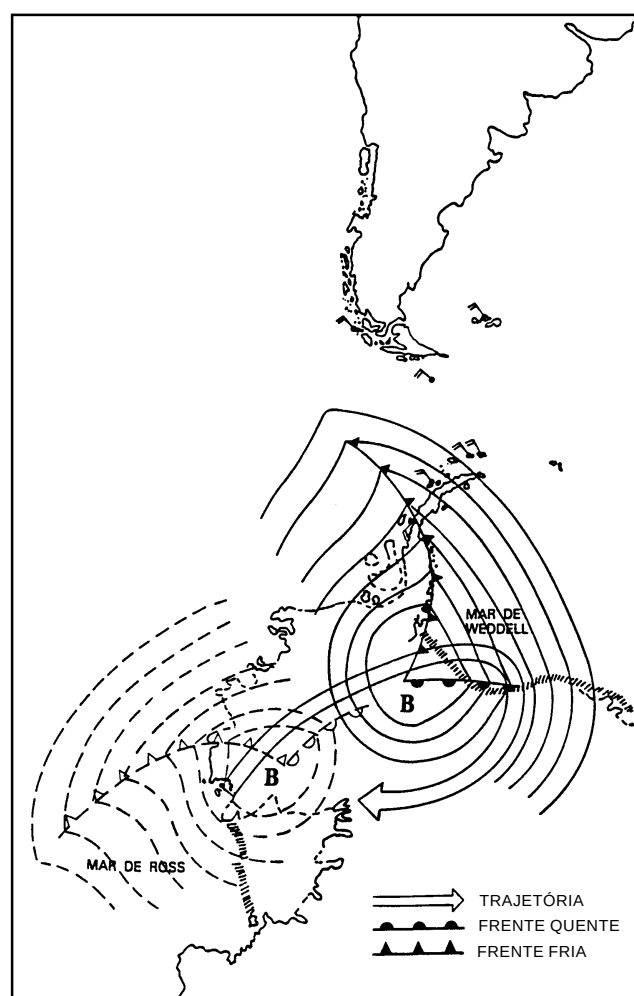
Estas baixas (figura 41.31) nascem nas proximidades do Mar de Ross e depois iniciam seu movimento com trajetória na direção do Mar de Weddell. Como nos casos anteriores, a primeira manifestação de sua presença é feita pelos barômetros, que registram uma acentuada queda de pressão; porém, neste caso, esta queda se apresenta em todas as estações ao largo da Península Antártica, sendo mais acentuada nas estações da Baía Margarita. O vento sopra com direção norte, aumentando a intensidade. À medida que a baixa cruza sobre a Península Antártica, o vento ronda pela esquerda, ou seja, noroeste, oeste e sudoeste, ao afastar-se da região.

Os efeitos são nevascas intensas, acompanhadas de água-neve, visibilidade muito baixa e mar força 6/7 nos estreitos de Bransfield, Neumayer e Gerlache, assim como em mar aberto.

– Situação de bloqueio no Atlântico Sul:

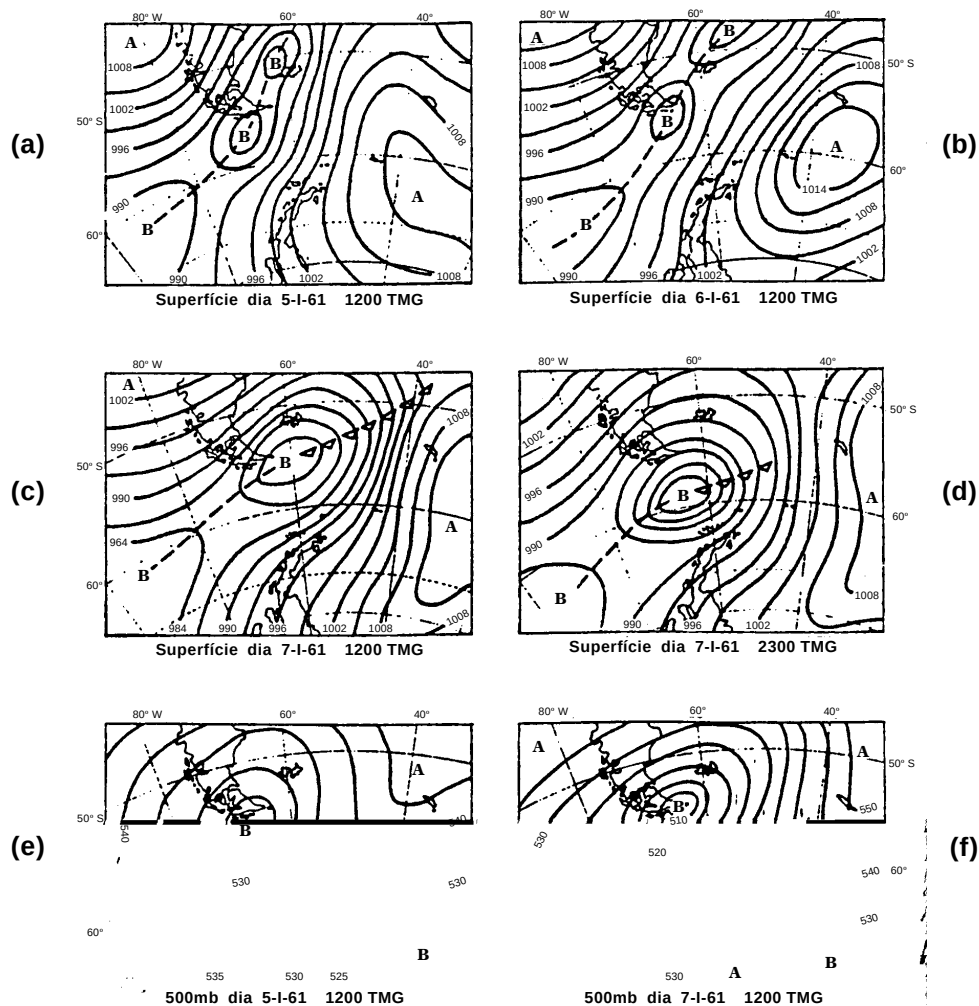
Esta situação é incluída neste capítulo por ser particularmente desfavorável para as operações na região antártica, assim como para a travessia do Estreito de Drake, podendo perdurar por vários dias.

Na zona situada a sudeste do continente sul-americano se desenvolvem com certa frequência anticiclones de bloqueio. Este tipo de situação sinótica está caracterizado por um alinhamento da circulação que se estende até níveis mais elevados da atmosfera, e causa um potente anticiclone que bloqueia a trajetória normal das baixas migratórias nos

Figura 41.31 – Trajetória das Baixas com o Centro ao Sul da Península Antártica

níveis inferiores. O anticiclone se estende, habitualmente, sobre as águas próximas às Georgias do Sul e Orcadas do Sul, estendendo-se, inclusive, até a parte norte do Mar de Weddell; em tais situações, podem-se desenvolver baixas pressões quase-estacionárias no Estreito de Drake e na Terra do Fogo, também de grande extensão vertical. Quando este anticiclone permanece na área citada, as condições manter-se-ão desfavoráveis no sul do Estreito de Drake, nas Shetland do Sul e no Estreito de Bransfield, com mau tempo, nebulosidade baixa, chuva e chuvisco intermitente, visibilidade reduzida e ventos de regulares a fortes.

A figura 41.32 apresenta uma análise sinótica de uma situação de bloqueio típica, mostrando os mapas de superfície (a, b, c, d), com o campo de pressão em mb, e os de altitude (e, f) em altura geopotencial, referidos ao nível de 500 mb (cerca de 5 km na atmosfera). O ponto importante a observar é o quase “alinhamento” do centro de alta pressão em superfície com o correspondente em altitude (isto é, o anticiclone está forte na superfície e em altitude). Este alinhamento é característico do bloqueio, que restringe o movimento dos centros de baixa em superfície. Na situação apresentada, a baixa em superfície permanece praticamente na mesma posição por cerca de 60 horas. Assim, os ventos predominantes na parte sul do Estreito de Drake e nas Shetland é de nordeste, no caso, com a pista praticamente ilimitada. Se tal situação ocorrer, devem ser esperadas condições de mar extremamente severas no Estreito de Drake. O bloqueio configura uma situação muito desfavorável para a travessia do Estreito de Drake.

Figura 41.32 – Situação Sinótica de Bloqueio em Superfície e em Altitude**OBSERVAÇÕES:**

– Em todas as situações descritas, teremos melhores condições para a travessia do Estreito de Drake quanto menor for a diferença de pressão na passagem, entre Diego Ramirez, ao sul da Terra do Fogo, e as estações das Shetland do Sul (EACF, Frei, Pratt, etc.) ou da Península Antártica. De um modo geral, não se deve atravessar o Estreito de Drake quando esta diferença de pressão for igual ou maior que 12 mb.

– Após vários dias de mau tempo, o mar permanece muito agitado no Drake, mesmo que o gradiente de pressão seja pequeno.

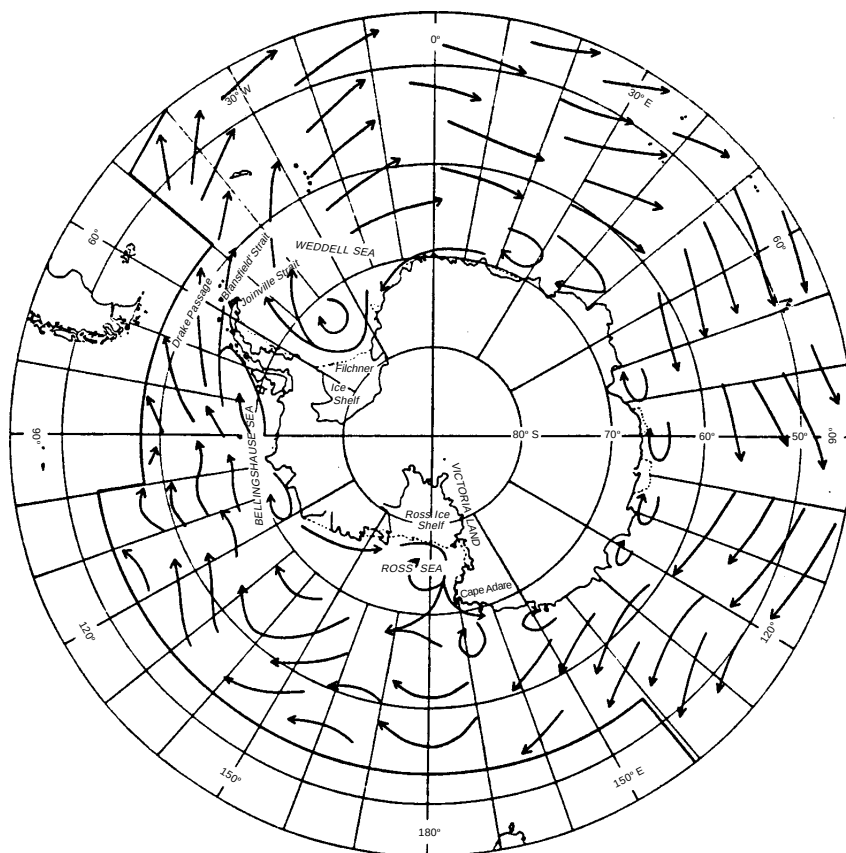
– Nos períodos mais favoráveis para cruzar o Drake no verão austral (dezembro/início de janeiro e final de fevereiro/março), pode-se ter até 72 horas entre as passagens de baixas, com suas frentes associadas. Entretanto, este intervalo, mesmo em tais ocasiões, pode reduzir-se para até 18 horas.

41.6.4 CORRENTES E MARÉS NA ANTÁRTICA

Na maior parte dos mares austrais, do seu limite N até umas poucas centenas de milhas da costa da Antártica, existe uma corrente geral na direção **E**, gerada pelos ventos de **W**, predominantes nessas Latitudes. Esta corrente é denominada **Corrente Geral Antártica** ou **Deriva do Vento Oeste**. Imediatamente ao sul desta corrente situa-se uma região de correntes em sua maioria fracas, associadas com um cinturão de vórtices no sentido horário que circundam o continente (figura 41.33). As partes sul destes vórtices

formam um padrão interrompido de correntes de rumo **W**, ao longo da maior parte da costa da Antártica.

Figura 41.33 – Correntes de Superfície na Antártica



Deve-se esperar um considerável grau de variabilidade, tanto em direção como em velocidade, das correntes na região antártica, devido aos complexos fatores oceanográficos e meteorológicos que se combinam para gerá-las.

As direções predominantes da **Corrente Geral Antártica** situam-se entre **NE** e **SE**, de acordo com a posição dos meandros suaves, que são sua característica. A velocidade média desta corrente é de 0,5 nó ou menos, embora em determinadas ocasiões a velocidade possa alcançar valores entre 1 nó e 2 nós.

Conforme a **Corrente Geral Antártica (Deriva do Vento Oeste)** aproxima-se do Estreito de Drake, divide-se em dois ramos. A parte principal atravessa a Passagem de Drake com rumo **NE**, mas um ramo do flanco sul da corrente gira para o **S** e depois **SW**, estabelecendo um vórtice no sentido dos ponteiros do relógio no Mar de Bellingshausen. A velocidade da corrente na parte central do estreito é de 0,5 a 1 nó, reduzindo-se para menos de 0,25 nó no setor **S** da passagem. Em algumas ocasiões, entretanto, a velocidade da corrente atinge mais de 2 nós, especialmente na metade **N** do Estreito de Drake.

Após vencer a Passagem de Drake, a **Corrente Geral Antártica** continua com rumo **NE** até cerca da Longitude 035° W, onde ela gira para um rumo mais **E**. A velocidade média da corrente neste setor é de 0,75 nó; em raras ocasiões, a velocidade pode superar 2 nós.

Não há dados suficientes para determinar se há qualquer variação sazonal na direção, velocidade ou na posição dos limites da **Corrente Geral Antártica (Deriva do Vento Oeste)**.

Junto ao continente antártico, como vimos, ocorre uma corrente mais fraca e menos característica, com rumo geral **W**. Ademais, existem também várias correntes locais.

Na Antártica, entre os meridianos 020° E e 075° W (região na qual está incluída nossa área normal de operações), a predominância é de **marés de desigualdades diurnas**. A sua **amplitude** fica entre 1,40 m e 1,80 m, aproximadamente. Como, de uma forma geral, as áreas navegáveis na Antártica são caracterizadas por altas profundidades, o efeito da maré perde um pouco o sentido para o navegante.

41.6.5 CONVERGÊNCIA NOS MARES AUSTRAIS

Um dos fenômenos mais característicos existentes nos mares austrais é o das convergências – zonas para onde correm as águas que circundam a massa continental da Antártica, mergulhando a grandes profundidades, ao nível das quais prosseguirão em seu lento caminhar para o norte. É de grande importância conhecer as características básicas da circulação austral, pois as mesmas massas de água existentes nessa região prolongam-se, em profundidade, ao Oceano Atlântico, conduzindo os mesmos valores (ou quase os mesmos, conforme a distância) de propriedades adquiridas à superfície, na região antártica.

A temperatura das águas situadas em torno do continente antártico é muito baixa, cerca de 0° C, e mesmo inferior a este valor (em certas regiões a temperatura atinge o valor de congelamento da água à salinidade de 34,5 ‰: -1,9° C). À medida que nos afastamos da Antártica, a temperatura dessas águas, constantemente sujeitas aos ventos que ocasionam a **Deriva do Vento Oeste**, vai aumentando paulatinamente, até atingir um valor próximo de 2° C. De repente, a temperatura salta bruscamente, aumentando alguns graus centígrados.

Na região, ou faixa, ao redor de todo o continente antártico, em que a água sofre brusco aumento de temperatura, está localizada a Convergência Antártica. Aí, as águas, que ao Sul da Convergência moviam-se para o Norte, mergulham e prosseguem em seu caminho na mesma direção. A Convergência Antártica localiza-se, principalmente, entre 50° e 60° de Latitude Sul, no Oceano Atlântico.

A partir dessa região, para o Norte, a temperatura da água volta a subir lentamente. Da mesma forma, as águas da **Deriva do Vento Oeste** continuam a circular e, cerca da Latitude de 40° S, observa-se um novo aumento brusco de temperatura, mais nítido do que o correspondente à Convergência Antártica, com variação da ordem de 4° C. Esta é a região correspondente à Convergência Subtropical. Como na Convergência Antártica, as águas convergem, afundam e continuam em direção ao Norte. É no mar austral que se forma grande parte das massas de água que vão compor a estratificação do Oceano Atlântico (no Oceano Ártico também são “produzidas” massas de água que contribuem para essa estratificação). E é através dos “mecanismos” colocados em funcionamento pelas Convergências Antártica e Subtropical que aquela contribuição se verifica. As duas Convergências separam as águas superficiais dos mares austrais em duas zonas que guardam valores distintos de propriedades da água do mar. A zona que vai do continente antártico à Convergência Antártica é denominada Zona Antártica. A Zona Subantártica estende-se entre as duas Convergências.

Na Zona Antártica a temperatura à superfície varia entre -1,9° C e 1° C, no inverno, e de -1° C a 4° C no verão. Na Zona Subantártica varia entre 4° C e 10° C no inverno, podendo alcançar 14° C no verão.

42.1 ESTUDO SOBRE ONDAS

a. FORMAÇÃO, CARACTERÍSTICAS E PROPAGAÇÃO DAS ONDAS

Embora seja um dos fenômenos naturais que mais afetam o movimento do navio, as **ondas** são, normalmente, muito pouco conhecidas pelos navegantes.

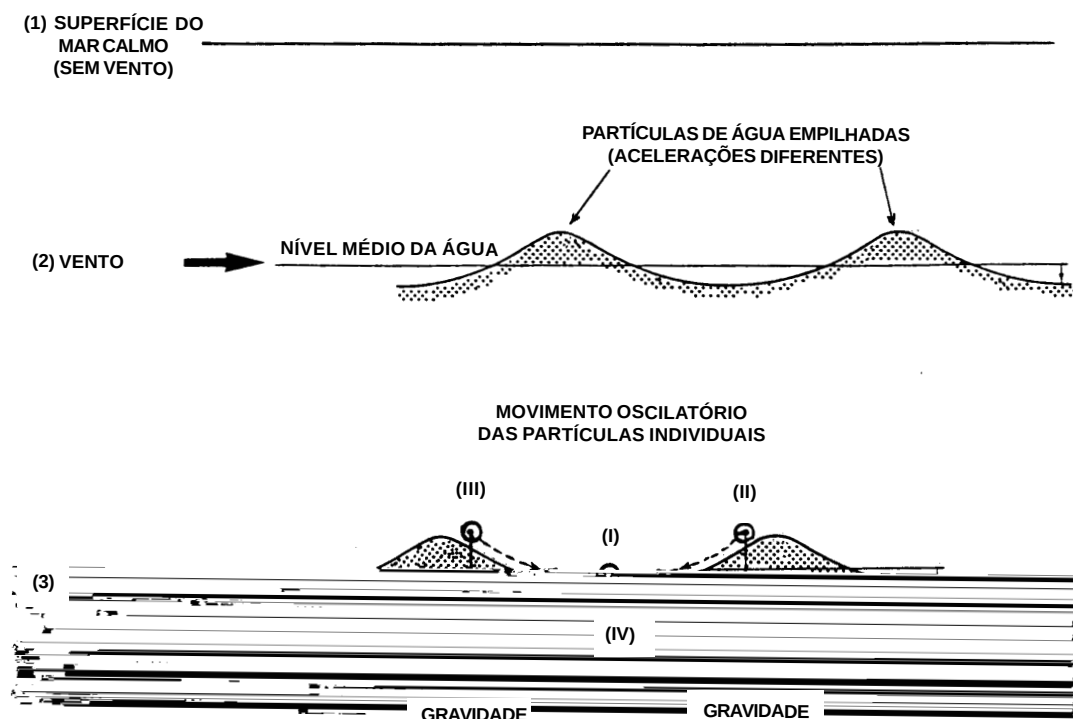
Quando o vento sopra, o atrito do ar contra a superfície da água tende a arrastar as partículas de água com ele, ou seja, a corrente de ar começa a atuar sobre a superfície do mar e acelera as partículas na superfície. Quando essas partículas começam a mover-se, elas empilham-se, ou amontoam-se, em determinadas áreas avante, em virtude de as partículas nessas áreas não terem, ainda, sido aceleradas. Estas partículas amontoadas formam as **cristas** das ondas.

Então, as partículas individuais de água que vêm atrás logo encontram seu movimento obstruído por uma massa de partículas empilhadas e, assim, o movimento da partícula individual é revertido, quando a força gravitacional resultante do empilhamento ultrapassa a ação do vento.

Posteriormente, após a pilha inicial de partículas de água ter-se movido para diante, o movimento das partículas individuais de água é novamente revertido, pela frente da pilha que se segue. As pilhas de partículas de água, ou ondas, formadas pela ação do vento movem-se, assim, rapidamente através da superfície da água.

Entretanto, o movimento das partículas individuais de água nas ondas é um movimento oscilatório, devido à ação da gravidade, conforme elas estão, alternadamente, na parte frontal ou na parte de ré de uma onda (ver a figura 42.1).

Figura 42.1 – Formação das Ondas

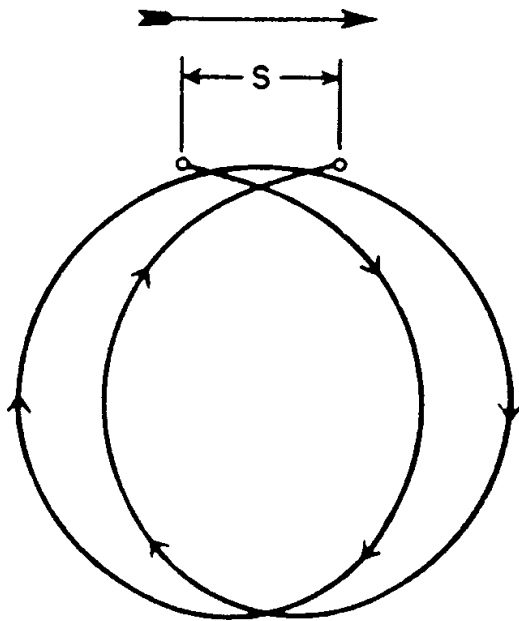


Assim, como mostrado na figura 42.1, uma partícula de água na superfície do oceano descreve uma órbita quase circular à medida que uma onda passa, mas desloca-se muito pouco na direção do movimento da onda. A onda que normalmente produz esta ação é denominada **onda oscilatória**. Conforme a **crista** passa, a partícula desloca-se para vante, dando à água uma aparência de estar se movendo com a onda. Quando o **cavado** passa, o movimento é na direção oposta. O raio da órbita circular diminui com a redução da profundidade, aproximando-se de zero em uma profundidade igual a cerca de meio comprimento de onda. Em águas mais rasas, as órbitas das partículas tornam-se mais elípticas e, em águas muito rasas, como nas proximidades de uma praia, o movimento oscilatório das partículas desaparece quase que completamente.

Como a velocidade na parte superior da órbita é maior que na parte inferior, a partícula de água não se encontrará exatamente na sua posição original após a passagem de uma onda, mas terá se deslocado ligeiramente na direção do movimento. Entretanto, como este avanço é pequeno em relação ao deslocamento vertical (ver a figura 42.2), um objeto flutuante é elevado e abaixado sucessivamente pela passagem de uma onda, mas move-se pouco com referência à sua posição original. Se isto não ocorresse, uma embarcação com baixa velocidade não poderia mover-se contra um trem de ondas.

Enquanto o vento sopra, as ondas resultantes são denominadas de **vagas**. Quando o vento pára, ou muda de direção, as ondas que continuam, sem relação com os ventos locais, são denominadas de **marulho**, ou **ondulação**. Então, as **vagas** são as ondas formadas pela ação local do vento que sopra em uma determinada área. As **vagas** têm cristas íngremes, as alturas são algo irregulares e variáveis, e os comprimentos são mais curtos. Além disso, pode ser observada a existência de ondas menores superpostas a outras maiores, dando a impressão de cristas e cavados duplos.

Figura 42.2 – Movimento Orbital e Deslocamento (S) de uma Partícula de Superfície, em Água Profunda, Durante dois Períodos Sucessivos de Onda



À medida que as **vagas** se afastam de seu local de origem, propagando-se a regiões distantes, onde não mais se fazem sentir os efeitos do vento que as gerou, suas características vão se modificando, atenuando-se vagarosamente. Denominam-se, nesse caso, **marulho**, ou ondulação. O **marulho** tem cristas mais compridas, o sentido de sua propagação é mais constante e as alturas são menores que as das vagas originais. Ademais, os períodos e os comprimentos de onda do marulho são sensivelmente constantes, com maior regularidade que as vagas.

Diferentemente dos ventos e das correntes, as **ondas** não são defletidas de modo apreciável pela rotação da Terra (efeito de

Coriolis), deslocando-se aproximadamente na direção para a qual sopra o vento que as gera. Quando este vento cessa, o atrito e o espalhamento causam uma redução na altura das ondas (atenuação), conforme elas se deslocam através da superfície do mar. Entretanto, esta redução se processa tão lentamente que o **marulho** continua por longas distâncias, ou até alcançar alguma obstrução, como uma costa ou ilha.

As ondas oceânicas têm uma forma muito próxima de um **ciclóide** invertido, a figura descrita por um ponto fixo situado na borda interior de uma circunferência (roda) que rola sem deslizar, sobre uma superfície plana. Esta forma é mostrada na figura 42.3. As partes mais altas das ondas são denominadas **cristas**; as partes mais baixas entre cristas são chamadas de **cavados**. Como as **cristas** são mais íngremes e estreitas que os **cavados**, o nível médio da água (**nível de repouso**, ou “still water level”) é um pouco mais baixo que a metade (média) entre a **crista** e o **cavado**. A distância vertical entre uma **crista** e um **cavado** consecutivo é denominada de **altura** da onda (**H**, na figura 42.3). A distância horizontal entre duas cristas sucessivas, medida na direção do movimento da onda, é denominada de **comprimento** da onda (**L**, na figura 42.3). O intervalo de tempo entre a passagem de duas cristas consecutivas por um ponto fixo é chamado de **período** da onda (**T**).

Figura 42.3 – Forma de uma Onda Típica



A **altura** da onda, seu **comprimento** e **período** dependem, em águas profundas, principalmente da **velocidade do vento**, da **duração** (tempo durante o qual sopra o vento) e da **pista** (distância em linha reta, na direção em que sopra o vento). As ondas propagam-se no mar com uma velocidade que é, às vezes, muito grande. Isto não significa, como vimos, que as partículas de água estejam submetidas a mudanças de posição significativas. A onda avança com certa velocidade, mas, na realidade, não é a massa que se propaga, mas sim a energia, ou seja, a deformação (alteração) da superfície do mar.

Essa é a velocidade de propagação, ou a **celeridade** de uma onda (**C**), isto é, a velocidade com que uma crista, ou um cavado, se propaga no mar.

Além do movimento oscilatório das partículas e da propagação das ondas, a massa de água tem um movimento, denominado de corrente de superfície, causado pelo vento. Assim, numa situação típica:

- O vento pode estar soprando a 30 nós;
- as ondas movendo-se, na direção do vento, com uma velocidade de propagação de 20 nós;
- as partículas individuais de água na superfície movendo-se AV e AR (movimento oscilatório) num total de 1,5 metro; e
- uma corrente média de superfície, devida ao vento, fluindo com 2 nós.

Normalmente:

- Quanto mais forte o vento, mais altas serão as ondas;
- quanto mais altas as ondas, mais rápido elas se moverão (maior celeridade ou velocidade de propagação), porque as partículas individuais de água serão carregadas mais alto e alcançarão uma velocidade maior, como resultado da maior distância para acelerar seu movimento;
- quanto mais altas as ondas, maior a distância entre duas cristas sucessivas (isto é, maior o comprimento das ondas); e
- quanto maior for o comprimento das ondas, maior será o seu período (tempo, em segundos, entre a passagem de duas cristas sucessivas, tomado de um **ponto fixo**).

Então, à medida que o vento aumenta, podem-se esperar:

- ONDAS MAIS RÁPIDAS;
- ONDAS MAIS COMPRIDAS;
- ONDAS DE MAIOR PERÍODO; e
- ONDAS MAIS ALTAS.

Depois que o vento começa a soprar, decorre um tempo considerável para que um sistema de ondas seja formado e, por causa do movimento das ondas, é requerida, também, uma distância apreciável. As ondas mais altas para uma velocidade de vento são encontradas quando o vento sopra por vários dias, numa pista de centenas de milhas de águas profundas e desobstruídas.

Nas águas profundas, em mar aberto, as dimensões das ondas dependem diretamente da força do vento. São as chamadas ondas oceânicas. Em alto mar, onde não houver restrição de profundidade, as ondas se sucedem com relativa regularidade, mesmo admitindo a superposição ocasional de ondas. Em águas rasas, entretanto, as ondas são deformadas, e tornam-se irregulares, principalmente nas proximidades da costa.

Conforme citado, as ondas dependem de três fatores:

- INTENSIDADE OU FORÇA DO VENTO;
- PISTA; e
- DURAÇÃO DO VENTO.

A intensidade do vento será sempre fator decisivo no estado do mar. A pista e a duração só agem no início do processo, como fatores de limitação. A pista só influi no estado do mar enquanto pequena; se aumentarmos a pista indefinidamente, as ondas irão crescendo até uma determinada altura, a partir da qual o aumento da pista deixa de ter influência. Da mesma forma também atua a duração: se aumentarmos o tempo em

que sopra um vento de determinada intensidade, o mar irá crescendo até uma certa altura, a partir da qual se estabiliza. **Mar completamente desenvolvido** é aquele em que a pista e a duração são tão grandes que já deixam de ter influência e o tamanho das ondas é função apenas da intensidade do vento.

Figura 42.4 – Influência da Força, Pista e Duração do Vento sobre a Altura e o Período das Ondas

P	11 (56 a 63 NOS)			PISTA MILHAS NAÚTICAS
	T (horas)	H (m)	P (seg)	
4.2	1.8	3.0	5.0	10
5.2	3.0	4.9	5.9	20
6.0	4.1	6.0	6.3	30
6.3	5.1	6.9	6.7	40
6.7	6.1	7.6	7.1	50
7.0	7.0	8.4	7.5	60
7.3	7.8	9.0	7.7	70
7.7	8.6	9.6	7.9	80
7.9	9.5	10.4	8.2	90
8.1	10.3	10.7	8.5	100
8.4	11.5	11.4	8.8	120
8.8	13.0	12.2	9.2	140
9.1	14.5	12.9	9.6	160
9.5	16.0	13.5	10.0	180
9.8	17.1	14.0	10.3	200
10.1	18.2	14.5	10.6	220
10.3	19.5	14.9	10.8	240
10.6	20.9	15.4	11.1	260
10.9	22.0	15.7	11.3	280
11.1	23.2	16.2	11.6	300
11.2	24.5	16.5	11.8	320
11.4	25.5	16.8	12.0	340
11.6	26.6	16.8	12.2	360
11.8	27.7	16.9	12.4	380
12.0	28.9	17.1	12.6	400
12.2	29.6	17.2	12.7	420
12.3	30.9	17.3	12.9	440
12.5	31.8	17.5	13.1	460
12.6	32.7	17.5	13.2	480
12.7	33.9	17.7	13.4	500
13.0	36.5	18.0	13.7	550
13.3	38.7	18.3	14.0	600
13.7	41.0	18.3	14.2	650
14.0	43.5	18.4	14.5	700
14.5	47.8	18.7	15.0	800
14.9	52.0	19.0	15.5	900
15.3	56.3	19.2	16.0	1000

A tabela da figura 42.4 indica a influência da **velocidade**, da **pista** e da **duração do vento** sobre a altura e o período das ondas, em águas profundas.

Assim, por exemplo, um vento força **7 (28 a 33 nós de velocidade)**, soprando durante **32 horas**, com uma pista de **300 milhas**, deverá produzir ondas de **5,5 metros de altura**, com um **período de 8,7 segundos**. Para um vento com força **6 (22 a 27 nós)**, o mar estará **completamente desenvolvido** com uma pista igual ou maior que **600 milhas**, após cerca de **56 horas** com o vento soprando. Nestas condições, esperam-se vagas de **4,2 metros de altura** e **9,5 segundos de período**. Um vento com força **10 (48 a 55 nós)**, soprando durante **10 horas**, com uma pista de apenas **90 milhas**, produzirá ondas de **9,1 metros de altura**, com **7,9 segundos de período**.

As tabelas a seguir, embora simplificadas, também são úteis para a previsão de ondas:

ALTURAS MÁXIMAS PROVÁVEIS DE ONDAS PARA VÁRIAS VELOCIDADES DE VENTO (PISTA ILIMITADA)	
VELOC. VENTO (NÓS)	ALT. ONDA (METROS)
8	1
12	1,5
16	2,5
19	3,7
27	6,0
31	7,6
35	9,0
39	11,0
43	12,0
47	13,7
51	15,5

(FONTE: WEATHER FOR THE MARINER)

ALTURAS DE ONDAS (METROS) NORMALMENTE PRODUZIDAS POR VÁRIAS VELOCIDADES DE VENTO, COM DIVERSAS DURAÇÕES (PISTA ILIMITADA)							
VELOC. VENTO (NÓS)	DURAÇÃO (HORAS)						
	5	10	15	20	30	40	50
10	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
15	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
20	1,5	2,1	2,4	2,4	2,7	2,7	2,7
30	2,7	4,0	5,0	5,2	5,5	5,8	5,8
40	4,3	6,4	7,6	8,5	9,5	10,0	10,0
50	5,8	8,8	11,0	12,2	13,7	14,6	15,2
60	7,3	11,3	14,3	16,5	18,9	20,4	21,0

(FONTE: WEATHER FOR THE MARINER)

ALTURAS DE ONDAS (METROS) PRODUZIDAS POR VÁRIAS VELOCIDADES DE VENTO, SOPRANDO SOBRE PISTAS DIFERENTES (DURAÇÃO ILIMITADA)						
VELOC. VENTO (NÓS)	PISTA (MILHAS NÁUTICAS)					
	10	50	100	300	500	1.000
10	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
15	0,9	1,2	1,4	1,5	1,5	1,7
20	1,2	2,0	2,4	2,7	2,7	2,9
30	1,8	3,8	4,6	5,5	5,8	5,9
40	2,1	5,3	7,0	9,1	9,8	10,7
50	2,7	6,7	9,1	13,1	14,3	15,8

(FONTE: PUB. Nº 602 – WIND WAVES AT SEA, BREAKERS AND SURF)

A tabela a seguir fornece o **comprimento** médio da onda para diversas **velocidades do vento**:

VELOC. VENTO (nós)	COMPRIMENTO MÉDIO DA ONDA (m)
11	16
20	38
30	80
42	115
56	250

(FONTE: WEATHER FOR THE MARINER)

O **período** das ondas depende de seu **comprimento**:

$$T \text{ (seg)} = [L(m)/1,56]^{1/2}$$

$$\text{ou: } L(m) = 1,56 \times T^2 \text{ (seg)}$$

A **velocidade de propagação (celeridade)** de uma onda livre, em águas profundas, é quase independente de sua altura ou escarpamento (declividade), dependendo diretamente apenas do seu período. Para o **marulho**, a relação entre a **velocidade de propagação (C)**, em nós, e o **período (T)**, em segundos, é dada por: $C = 3,03 T$. A tabela abaixo apresenta os valores de **velocidade de propagação** (em nós) e **comprimento** (em metros) para ondas de diferentes **períodos**, em águas profundas.

PERÍODO (segundos)	CELERIDADE (nós)	COMPRIMENTO (metros)	PERÍODO (segundos)	CELERIDADE (nós)	COMPRIMENTO (metros)
2	6	6,2	14	42	306,0
4	12	25,0	16	48	400,0
6	18	56,0	18	55	505,5
8	24	100,0	20	61	624,0
10	30	156,0	22	67	755,0
12	36	224,5	24	73	899,0

(FONTE: PUB. Nº 602 – WIND WAVES AT SEA, BREAKERS AND SURF)

No Oceano Atlântico as ondas normais têm um comprimento de **60m a 110m**, um período de **6 seg a 8 seg** e velocidade de propagação (celeridade) de **18 nós a 27 nós**. As ondas de tempestade no Atlântico variam de **160 m a 200 m** de comprimento, têm um período de **10 seg a 12 seg** e velocidade de propagação de **32 nós**, aproximadamente. No cinturão dos **ventos alísios** no Oceano Atlântico as ondas têm uma altura média de 1,8 metro (6 pés) e altura máxima de 6 metros (20 pés).

A relação altura/comprimento (H/L) de uma onda chama-se **escarpamento**, que diminui com o aumento do comprimento. Para as ondas mais compridas, esta relação varia de 1/40 a 1/50. Para as ondas normais (60 m de comprimento), o escarpamento é da ordem de 1/20.

Quando o **escarpamento** atinge o valor 1/7, a onda perde estabilidade e arrebenta. É o que acontece quando a onda atinge um local de pouco fundo, tornando-se onda de água rasa. No estágio final, sua velocidade de propagação diminui, o comprimento diminui e a altura aumenta, até o escarpamento atingir o valor 1/7, quando a onda arrebenta.

Ao observar e reportar a altura das ondas, o navegante tem uma tendência de negligenciar as alturas mais baixas. Descobriu-se, empiricamente, que o valor informado corresponde, na realidade, à média do 1/3 mais alto das ondas observadas. Este valor é denominado **altura significativa** ou **significante** ("significant wave height"). As relações aproximadas entre essa altura e as outras são as seguintes:

ALTURA DA ONDA	RELAÇÃO COM A ALTURA SIGNIFICANTE
MÉDIA	0,64
SIGNIFICANTE	1,00
10% MAIS ALTAS	1,29
MAIS ALTAS	1,87

Portanto, se um navegante reportar que a altura das ondas observadas é de 7,0 metros, poder-se-á inferir que este valor é o da altura significativa e que os outros valores serão:

altura média: 4,5 metros;

10% mais altas: 9,0 metros; e

ondas mais altas: 13,0 metros.

b. EFEITOS DAS CORRENTES, DO GELO E DAS ÁGUAS RASAS SOBRE AS ONDAS

Uma corrente fluindo no mesmo sentido que as ondas aumenta o comprimento e diminui a altura das ondas. Uma corrente contrária produz o efeito oposto, reduzindo o comprimento e aumentando a altura das ondas. Uma forte corrente contrária pode causar com que as ondas arrebenhem. A extensão da alteração das ondas depende da razão entre a sua velocidade de propagação e a velocidade da corrente.

Quando se formam cristais de gelo na água do mar, o atrito interno é grandemente aumentado; isto resulta na redução das ondas e no amaciamento da superfície do mar. O efeito de um campo de gelo marinho ("pack ice") é ainda mais pronunciado. Um navio seguindo um canal aberto em um campo de gelo poderá navegar em águas tranquilas, mesmo que um forte vento esteja soprando e que um mar pesado esteja batendo contra a borda do campo. O granizo também é eficaz para acalmar o mar, mesmo com vento forte.

Água rasa, que é definida como uma profundidade menor que metade do comprimento da onda, afeta a altura e a forma da onda.

Quando uma onda encontra baixas profundidades, o movimento das partículas individuais de água é restringido pelo fundo, resultando em redução na velocidade da onda. Em águas profundas a **velocidade de propagação** das ondas é uma função do período. Em águas rasas, esta velocidade torna-se uma função da **profundidade**. Quanto mais rasa a água menor é a velocidade da onda. Conforme a velocidade de propagação se reduz também diminui o comprimento da onda, pois o período se mantém o mesmo. Como a energia da onda permanece constante, a redução do comprimento resulta no aumento da altura da onda.

Se a onda se aproxima de um baio obliquamente, cada uma de suas partes é desacelerada sucessivamente, conforme a profundidade diminui. Isto causa uma mudança na direção do movimento, ou uma **refração** da onda, que tende a tornar-se paralela às linhas de igual profundidade (isóbatas).

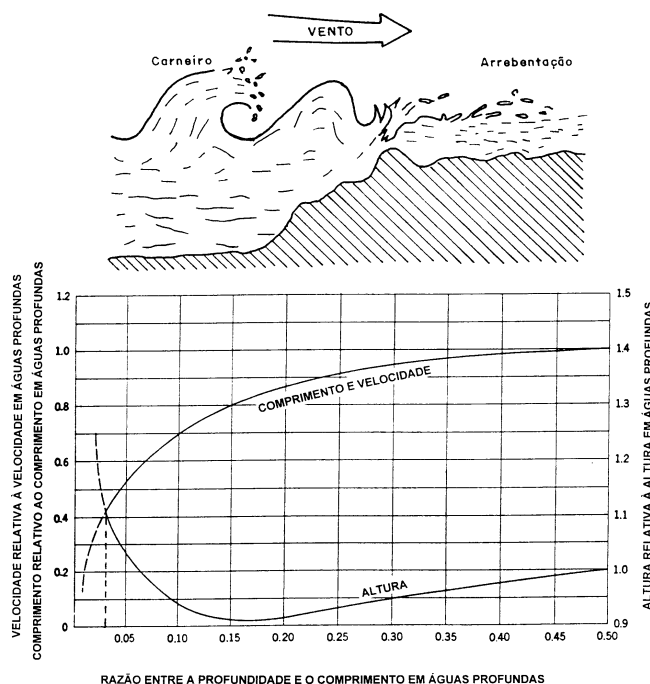
Conforme cada onda se desacelera, a onda seguinte, movendo-se ainda em águas mais profundas, tende a alcançá-la. Além disso, como vimos, à medida que a profundidade se reduz, a altura da onda torna-se maior. A parte inferior da onda, estando mais próxima do fundo, é mais desacelerada que a parte superior. Estes efeitos tornam a onda instável e sua parte superior, movendo-se mais rápido, **quebra** ou **arrebenta**, criando uma zona de **arrebentação**. Quando o **escarpamento** ou declividade de uma onda (razão entre a **altura**

da onda e o seu **comprimento**) é igual ou maior que 1/7, a onda arrebenta. Isto ocorre quando a profundidade é igual ou menor que 4/3 da altura da onda.

Um **marulho** passando sobre um baixio poderá não quebrar, mas sofrerá um decréscimo no comprimento de onda e na velocidade de propagação, com o conseqüente aumento na altura. Este **marulho de fundo** (“ground swell”) pode causar forte balanço (especialmente se vier de través e seu período for o mesmo que o período de balanço do navio), mesmo estando o mar na região aparentemente calmo.

A figura 42.5 ilustra os efeitos de baixas profundidades sobre as características das ondas. Por exemplo, uma onda com comprimento de 100 metros, altura de 5 metros e velocidade de propagação de 18 nós em águas profundas, ao encontrar uma profundidade de 4 metros sofrerá as seguintes alterações:

Figura 42.5 – Alterações das Características das Ondas em Baixas Profundidades



– Razão entre a profundidade e o comprimento da onda em águas profundas:

$$\frac{4}{100} = 0,04$$

– Entrando no diagrama da figura 42.5 com este valor, verifica-se que, ao alcançar a profundidade de 4 m as características da onda serão:

- Altura: $5 \times 1,1 = 5,5 \text{ m}$
- Comprimento: $100 \times 0,4 = 40 \text{ m}$
- Velocidade: $18 \times 0,4 = 7,2 \text{ nós}$

Nota:

A onda provavelmente já estará quebrando, pois seu escarpamento estará muito próximo de 1/7, além da profundidade ser menor que 4/3 da altura da onda.

c. ONDAS ANORMAIS

– TSUNAMIS

Tsunamis são ondas oceânicas produzidas por movimentos de grande escala ocorridos nos fundos marinhos, por erupção vulcânica, maremotos ou grandes deslizamentos

de terra no leito do oceano. Quando causados por **maremotos** os **tsunamis** são chamados de **ondas sísmicas oceânicas** (indicando que são produtos de fenômenos sísmicos). O ponto diretamente acima da perturbação, no qual a onda se origina, é denominado de **epicentro**.

Quando ocorre uma erupção vulcânica submarina, os gases que escapam empurram para cima, na direção da superfície do mar, uma enorme quantidade de água, que assume a forma de um domo. O mesmo efeito decorre de um abalo sísmico submarino, com a repentina elevação de uma porção do fundo do mar. Conforme a água retrocede, cria-se uma série de ondas que se propagam através da superfície do mar, em todas as direções, com grande velocidade, a partir da área do oceano onde ocorreu o sismo. Estas ondas têm características totalmente diferentes das ondas comuns, que se produzem pela ação do vento sobre a superfície do oceano.

Tsunamis são uma série de ondas. Próximo do **epicentro**, a primeira onda pode ser a mais alta. A maiores distâncias, entretanto, a onda mais alta normalmente ocorre mais tarde na série, em geral entre a terceira e a oitava onda. Em seguida à altura máxima, as ondas tornam-se menores, mas os **tsunamis** podem ser detectados, algumas vezes, por vários dias.

Algumas das características das ondas de **tsunami** são: sua grande velocidade de propagação, que pode alcançar até 1.000 km/h, dependendo da profundidade do mar; sua pequena amplitude, que as tornam quase imperceptíveis em alto-mar, mas que aumenta à medida que diminui a profundidade; e seu grande comprimento de onda, que pode alcançar várias centenas de quilômetros.

Em águas profundas, a altura da onda de um **tsunami** não será, provavelmente, nunca maior que 2 ou 3 pés (0,6 a 0,9 m). Como o comprimento da onda é, em geral, maior que 100 milhas, a onda dificilmente será percebida. No Pacífico, onde a maioria dos **tsunamis** ocorre, o período da onda varia entre cerca de 15 e 60 **minutos**, e a velocidade de propagação em águas profundas é maior que 400 nós. A velocidade pode ser calculada, de modo aproximado, pela fórmula $C = 3,4\sqrt{d}$, onde **C** é a velocidade de propagação em nós e **d** é a profundidade em pés (a mesma fórmula poderia ser escrita $C = 6,1\sqrt{d}$, sendo **C** a velocidade em nós e **d** a profundidade em metros).

Então, a altura inicial de um **tsunami** em alto-mar, onde é provável que passe completamente despercebido, é muito pequena. De fato, para um sismo de grau 8 na escala Richter pode-se associar uma altura inicial de cerca de 0,8 metro, com um comprimento de onda de centenas de quilômetros. Assumindo um período (intervalo de tempo de crista a crista) de 20 minutos, o que é um valor bastante característico para um **tsunami**, ter-se-á um comprimento de onda de 213 km e uma velocidade de propagação de cerca de 385 nós para um **tsunami** que se move em um oceano que tem uma profundidade de 4.000 metros.

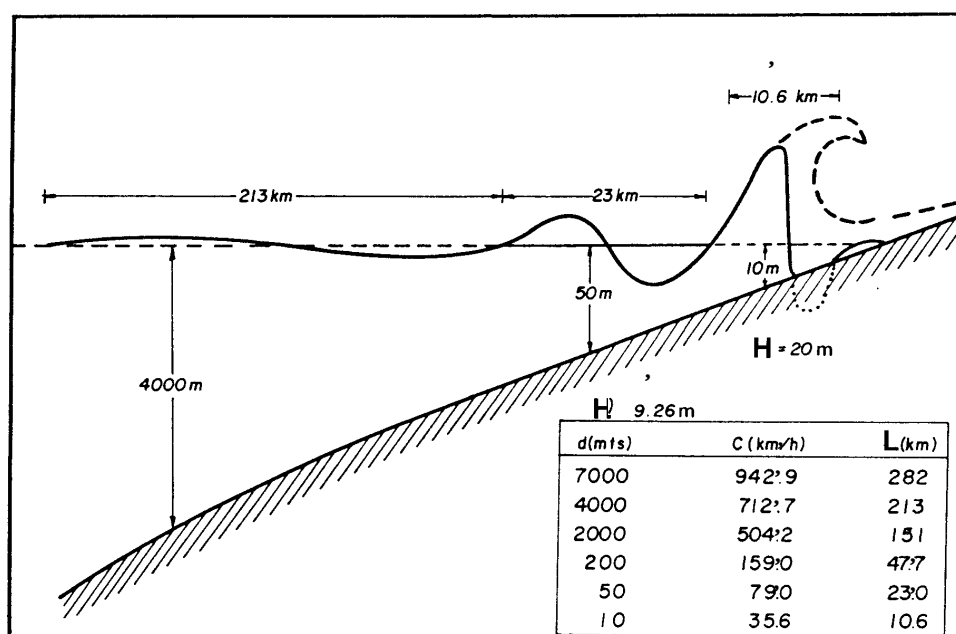
Mesmo com essa pequena altura de 0,8 m, a quantidade de água que se desloca é enorme, devido ao grande comprimento de onda; de fato, supondo-se uma curva perfeitamente sinusoidal, cada onda completa desloca de sua posição de repouso uma quantidade de 120.000.000 m³ de água por cada quilômetro de largura de **tsunami** (o equivalente a um cubo de cerca de 500 metros de lado), o que significa que cada onda possui uma quantidade de energia potencial de 480.000.000.000 joules por quilômetro de crista, sem contar a enorme energia cinética resultante de sua grande velocidade.

Quando um **tsunami** alcança águas rasas, experimenta as mesmas alterações que as outras ondas. A fórmula apresentada ($C = 6,1\sqrt{d}$) indica que a velocidade de propagação é

proporcional à profundidade. Por causa da grande velocidade de um **tsunami** em águas profundas, a sua desaceleração em baixas profundidades é muito maior que a de uma onda comum, produzida pelo vento. Assim, o aumento da altura é, também, muito maior. A força do **tsunami** depende da natureza e da intensidade da perturbação que o gerou. A altura e o poder de destruição da onda que atinge um determinado lugar dependem da sua distância ao epicentro, do relevo submarino e da topografia da linha de costa, além do ângulo segundo o qual a onda se aproxima. A posição e a conformação da linha de costa também têm o seu efeito, pois ela pode estar protegida por uma ponta ou ilha, ou estar em uma posição para a qual as ondas tendam a convergir, por causa da refração ou da reflexão, ou de ambas (ou seja, a altura de um **tsunami** pode ser aumentada ou diminuída pela refração ou reflexão de ondas, ou por uma combinação destes dois fenômenos).

Então, quando um tsunami se aproxima da costa sua velocidade diminui, de acordo com a estreita dependência entre a profundidade e a velocidade de propagação. Como se pode observar na figura 42.6, a velocidade em 10 m de profundidade é quase 20 vezes menor que em 4.000 m, e, como a energia é a mesma, produz-se um aumento proporcional da altura da onda. Desta forma, uma onda de apenas 50 cm no oceano aberto pode chegar a 20 metros de altura, ou mais, ao atingir a costa (figura 42.6).

Figura 42.6 – Relação entre a Profundidade, a Velocidade de Propagação, o Comprimento de Onda e a Altura de um TSUNAMI

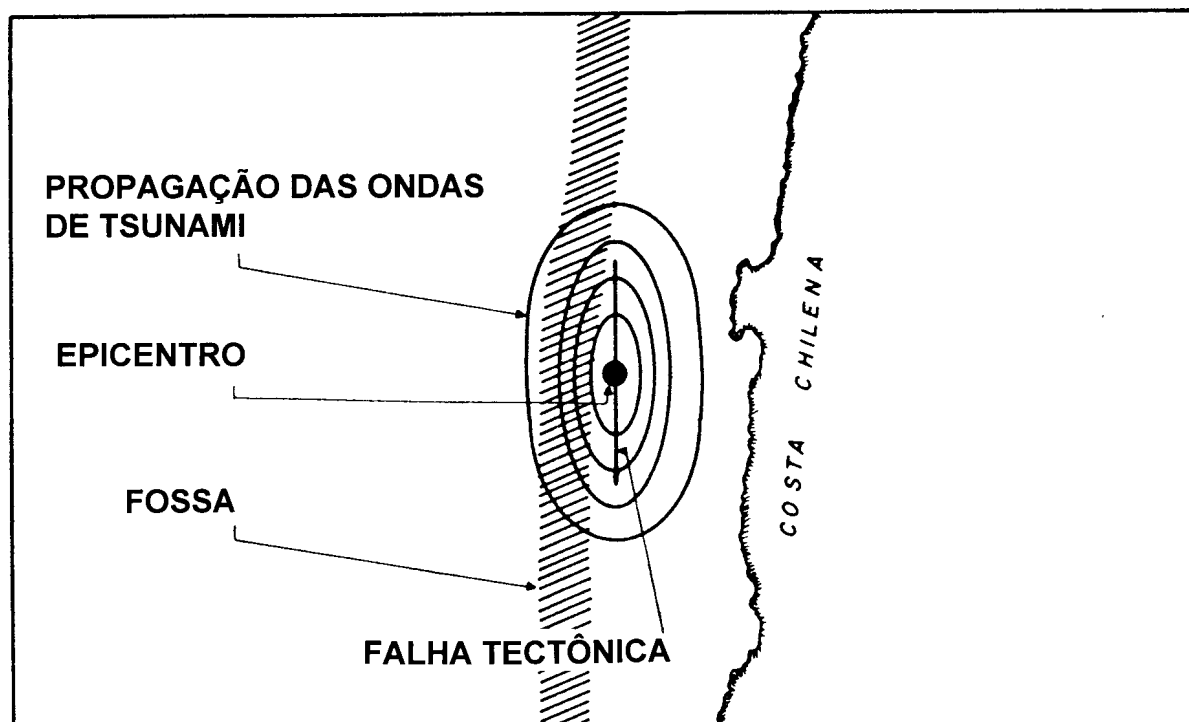


Historicamente, o maior **tsunami** de que se tem notícia segura foi o provocado pela erupção do vulcão Krakatoa. Neste caso, a altura de onda informada foi de 42 m. No entanto, **tsunamis** de grande poder destrutivo são relativamente raros (média de 1 em cada 20 anos, nas ilhas Hawaii).

Na América do Sul, os lugares de maior possibilidade de ocorrência de **tsunamis** situam-se nas proximidades da costa do Chile, ao redor da fossa que se encontra em frente àquele país, como mostrado na figura 42.7.

No Oceano Pacífico existe um **sistema de alarme de tsunamis**, com sede central no Observatório de Honolulu, que informa a todos os países costeiros sobre o avanço do fenômeno.

Figura 42.7 – Local de Formação de TSUNAMIS



Um navio ou embarcação alertado da ocorrência e aproximação de um **tsunami**, ou quando sentir um forte abalo sísmico, deve, de imediato e sem duvidar um só instante, dirigir-se o mais rápido possível para mar aberto, pois um **tsunami** só é destrutivo em águas rasas, próximo da costa; de fato, a uma profundidade maior que 150 metros e a uma distância de mais de 3 milhas da costa o navegante poderá considerar-se seguro. Ademais, o navegante deve ter sempre presente que um **tsunami** pode penetrar várias milhas por um rio ou estuário. Portanto, tais locais não constituem abrigos seguros para navios ou embarcações.

Um **tsunami** pode produzir até 10 ou mais ondas destrutivas, em um período de tempo que pode alcançar 12 horas. Assim, ao proteger-se em mar aberto, o navegante não deve retornar imediatamente à costa, após as primeiras ondas. Além disso, não se deve voltar a lugares potencialmente ameaçados, até que uma autoridade responsável indique que o perigo está terminado.

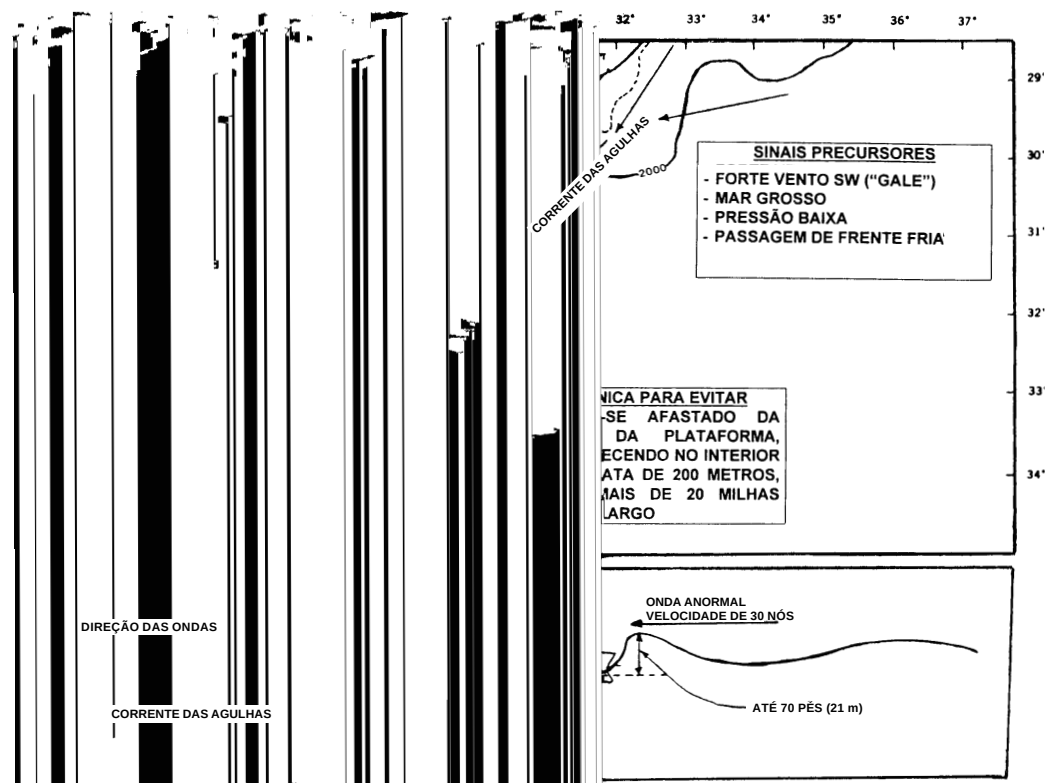
Em conjunto com os **tsunamis**, os maremotos também podem produzir uma onda longitudinal que se propaga para cima, na direção da superfície do mar, na velocidade do som. Quando um navio encontra uma destas ondas, sente-se um choque a bordo, que pode ser tão forte a ponto de dar a impressão que o casco tocou o fundo. Por isso, algumas cartas antigas indicavam bancos e baixios em lugares onde hoje se sabe que a profundidade é de milhares de metros.

– FREAK WAVES

As “**freak waves**” (ondas anormais, ou ondas extravagantes) da costa Sudeste da África do Sul são notórias, sendo também conhecidas como o fenômeno de “buraco no mar”. Estas ondas podem ocorrer sob determinadas condições meteorológicas, causando avarias graves em navios que trafegam entre o Cabo Recife ($34^{\circ} 02,0'S$; $025^{\circ} 42,0'E$) e a Ponta Durnford ($28^{\circ} 52,0'S$; $032^{\circ} 02,0'E$), no litoral Sudeste da África do Sul. Em 1968, o superpetroleiro “S. S. World Glory” enfrentou uma dessas ondas, quebrando-se em duas partes e naufragando, no dia 13 de junho, com perda de vidas.

A forte **Corrente das Agulhas** fluindo para **SW** ao largo, paralelamente à costa Leste da África do Sul, tem cerca de 60 milhas de largura e alcança velocidades de até 5 nós em algumas ocasiões. Esta corrente é, normalmente, mantida fora da plataforma continental, pelo fato de que ela se estende verticalmente até uma profundidade maior que 200 metros. A maior velocidade é alcançada na borda Oeste da corrente, mais próximo da costa. Entre Durban e Port St. Johns (figura 42.8), a largura média da plataforma continental é de 5 milhas; nesta área, entre a costa e a borda Oeste da Corrente das Agulhas, gera-se, em algumas ocasiões, uma contracorrente, quando um forte vento SW é associado com uma baixa (depressão atmosférica) movendo-se para ENE.

Figura 42.8 – “Freak Wave” da Costa Sueste da África do Sul



Esta contracorrente, movendo-se no rumo NE, é composta pela associação de uma corrente de gradiente, causada pela elevação do nível do mar na área de baixa pressão, e da corrente de superfície produzida pelo vento SW.

No quadrante Noroeste da depressão, ventos SW com força de tempestade (“gale force”), soprando na direção contrária à da Corrente das Agulhas, causam ondas muito altas e escarpadas, especialmente na parte Oeste dessa corrente, imediatamente ao largo da borda da plataforma. Estas ondas têm cerca de 5 a 10 metros de altura, períodos de aproximadamente 10 segundos e comprimentos de 60 a 90 metros. Ao mesmo tempo, podem ocorrer trens de ondas emanando de fortes centros de baixa situados mais distantes, ao Sul; estas ondas têm maior comprimento e períodos de cerca de 16 segundos, e também se propagam numa direção geral NE, contra a Corrente das Agulhas.

Uma combinação de ondas desses diferentes trens, em conjunto com uma aberração na Corrente das Agulhas, resultado da influência da contracorrente mencionada, causam, em diversas ocasiões, a formação de uma onda excepcionalmente longa (cerca de 300 metros de comprimento), cuja crista é precedida de um profundo cavado, resultando em uma altura de onda de cerca de 20 metros.

Esta onda, que ocorre repentinamente, sem qualquer aviso, pode destruir um navio navegando contra o mar. O ciclo de vida e a distância de atuação de uma “freak wave” são muito curtos, tornando muito pequenas as chances de um navio ter que enfrentá-las. Entretanto, os navegantes devem ter cautela ao trafegarem ao largo da costa Sueste da África do Sul, quando navegando no rumo SW, com pressão baixa, passagem de frente fria, mar grosso e forte vento SW. Nessas condições, um navio navegando no rumo SW deve manter-se afastado da borda da plataforma continental (isóbata de 200 metros). A melhor opção é aproximar-se da costa, permanecendo no interior da isóbata de 200 metros até que o vento e o mar tenham moderado suas forças. Contudo, o tráfego marítimo que se desloca na direção NE normalmente também navega próximo desta parte da costa sul-africana (a 3 ou 4 milhas de distância), para evitar a Corrente das Agulhas e aproveitar a contracorrente favorável. Assim, o tráfego para SW deve evitar aproximar-se da costa mais que o necessário.

A alternativa, especialmente para navios cuja carga exige que mantenham uma distância determinada da costa, consiste em navegar além da área de maior influência da Corrente das Agulhas, ou seja, a não menos de 20 milhas para o largo da borda da plataforma, onde será menor o risco de encontrar uma onda anormal.

Além da costa Sueste da África, “freak waves” com alturas de três a quatro vezes a altura média das ondas (e com cavados igualmente profundos) podem ocorrer em qualquer mar desconhecido. Um cuidado constante deve ser mantido, para enfrentá-las de proa.

– ONDAS DE MARÉ

Como vimos no Capítulo 10 (Volume I), existem na Terra, de modo geral, duas regiões de maré alta, separadas por duas regiões de maré baixa, e estas regiões movem-se progressivamente para W ao redor da superfície terrestre, conforme a Lua percorre sua órbita. As preamares são as cristas dessas **ondas de maré**, e as baixamares são os seus cavados. As **ondas de maré** não são notadas no mar, mas tornam-se aparentes ao longo da costa, especialmente em estuários afunilados. Na foz de certos rios ou em estuários com uma determinada configuração, a onda de preamar que se aproxima ultrapassa a baixa-mar que a precedeu, resultando em uma onda elevada, de crista bastante alta, que se propaga com alta velocidade para montante, como uma vaga poderosa, denominada “**bore**”, ou “**tidal bore**” (ver **pororoca**, Capítulo 40).

42.2 EFEITOS DAS ONDAS SOBRE OS NAVIOS

Os efeitos das ondas variam consideravelmente com o tipo do navio, seu rumo e velocidade. Um navio pequeno tem tendência de escalar um lado de uma onda e descer no outro lado, enquanto um navio maior pode tender a atravessar as ondas, com a quilha mais ou menos nivelada. Se as ondas são de tal comprimento que a proa e a popa do navio ficam alternadamente sobre cristas sucessivas e cavados consecutivos, o navio é submetido a pesados esforços de alquebramento e, sob condições extremas, pode partir-se em dois. Uma mudança de rumo pode reduzir o risco. Devido ao perigo de alquebramento, um pequeno navio algumas vezes enfrenta melhor uma tempestade que um navio maior.

Se vagas consecutivas atingem o bordo de um navio na mesma fase de balanços sucessivos, podem causar um balanço muito forte, embora sejam ondas relativamente

pequenas (o efeito é semelhante ao de embalar uma criança em um balanço, onde a força com que se empurra não é tão importante quanto o instante em que se dá o impulso). O mesmo efeito, se aplicado à proa ou à popa em sincronia com o caturro, pode causar uma forte arfagem do navio. Uma mudança de rumo ou de velocidade pode reduzir o efeito.

Uma onda com comprimento igual a duas vezes o comprimento do navio pode colocar o navio em perigo de cair no cavado do mar, particularmente se ele estiver em baixa velocidade. O efeito é especialmente pronunciado com mar de bochecha ou de alheta. Um aumento da velocidade reduzirá o perigo.

Um grupo de ondas move-se apenas com a metade da velocidade com que se propagam as ondas individuais que formam o grupo. Conseqüentemente, a mesma onda não permanece como a mais alta de um grupo, mas as ondas que passam através do grupo alcançam sua altura máxima próximo do centro do grupo. Assim, os “carneiros” e espumas de arrebenção não permanecem nas mesmas ondas e, numa formação simples de ondas, uma vaga só arrebença na crista quando próxima do centro do grupo. Entretanto, num mar desconchado (que é a regra, mais que a exceção), as ondas quebram mais freqüentemente.

Uma onda íntegra é muito menos perigosa que uma onda quebrando. Na primeira, o movimento da água é quase que inteiramente para cima e para baixo, havendo pouco movimento para a frente e para trás; mas, em uma onda quebrando, uma grande massa de água é fortemente projetada da crista, para frente e para baixo, com uma velocidade de cerca de metade da celeridade da onda. Ademais, uma onda que arrebença naturalmente é mais alta e mais escarpada que as ondas vizinhas. Entretanto, uma onda pode quebrar pelo impacto com o navio e, nesta situação, seu perigo potencial é quase tão grande como o de uma onda que se quebra naturalmente.

Um marulho pesado, causado por um vento forte e prolongado soprando sobre uma pista longa de águas profundas, pode propagar-se por centenas de milhas sem alterar praticamente sua direção. Se este marulho encontra vagas de uma direção diferente, causadas por um vento local forte, resulta um mar desconchado, confuso e perigoso.

De modo geral, um mar com vagas curtas e escarpadas, ou um mar desconchado (confuso), é mais perigoso para navios pequenos, enquanto que um mar com ondas longas e pesadas é mais perigoso para navios maiores.

42.3 AÇÃO CONJUNTA DO VENTO E DAS ONDAS

Em mar grosso, a superfície da água é constituída por uma série de cristas e cavados, movendo-se com uma velocidade média de propagação, porém, exceto por uma pequena corrente superficial, a superfície da água não está movendo-se com o vento (como vimos, as partículas individuais de água têm um movimento oscilatório).

A força que um fluido em movimento pode exercer a uma dada velocidade é proporcional à sua densidade. Como a água é muito mais densa que o ar, o efeito combinado das ondas e do vento sobre o navio deve-se quase somente às ondas. O efeito do vento torna-se importante para a sobrevivência do navio apenas quando o vento sopra em velocidade de furacão (FORÇA 12 – acima de 64 nós).

Efeitos do mar grosso:

- Fica reduzida a velocidade no fundo;
- possibilidade de avarias nas obras mortas, em consequência dos golpes do mar, particularmente na superestrutura;
- possibilidade de o navio emborcar ou até mesmo, sob condições extremas, partir; e
- os efeitos do mar grosso são tanto mais acentuados quanto maior for a velocidade do navio; por isto, sob mau tempo, é indispensável reduzir a velocidade; normalmente, é necessário mudar o rumo, para capear ou correr com o tempo.

Antes de suspender o navio deve estar completamente preparado para enfrentar mau tempo (ver o Capítulo 41 – Navegação em Regiões Polares), devendo-se dar especial atenção à peiação adequada de todo material volante.

Havendo previsão de mau tempo, as medidas para aumentar a estabilidade do navio devem ser tomadas previamente, antes que as condições se deteriore. Estas medidas incluem esgoto de porões ou outros espaços, lastro de tanques, verificação de carga, etc. Isto deve ser feito com o navio ainda razoavelmente estável, pois, do contrário, pode provocar situações de perigo durante o ajuste da estabilidade, pela criação de efeitos de superfície-livre em tanques ou por cargas descentradas.

Quando houver prenúncio de mau tempo:

(a) Estabelece-se uma condição de fechamento rigorosa, isolando-se as escotilhas, vigias, portas estanques, agulheiros e demais passagens estanques, deixando abertas apenas as que se tornam indispensáveis ao serviço;

(b) peiam-se os objetos volantes;

(c) verifica-se a amarração de todo o aparelho do navio, fixo e de laborar (guindastes, paus de carga, etc.);

(d) verificam-se as peias das lanchas no picadeiro e das balsas salva-vidas em seus berços;

(e) evitam-se tanques cheios pela metade (com superfície líquida livre muito extensa); e

(f) faz-se uma revisão no compasso do navio.

É importante mencionar que não basta apenas ordenar as medidas citadas; é necessário verificar se elas foram realmente executadas.

Balanço é a oscilação transversal do navio. **Amplitude** do balanço é o ângulo descrito pelo navio em uma oscilação de um bordo a outro. Assim, por exemplo, se o navio joga 8° para BE e 7° para BB, a amplitude do balanço é de 15°. **Período** é oX /enfas aión

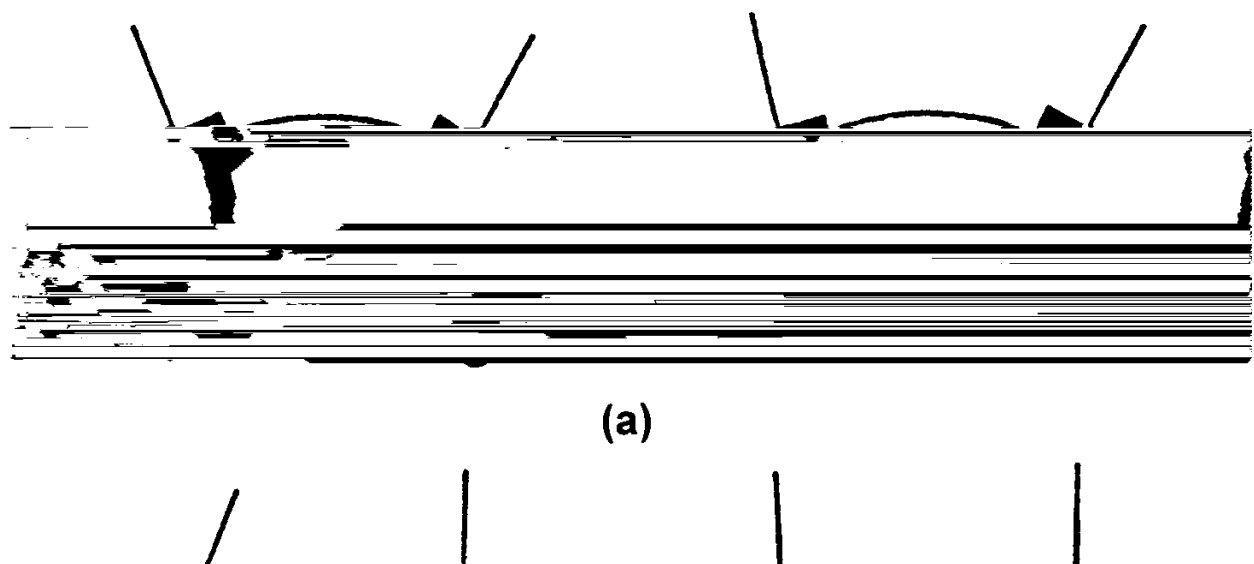
oscilação natural do navio é igual, ou quase igual, ao semiperíodo aparente das ondas, o navio fica em sincronismo, isto é, há superposição dos dois conjugados de inclinação, tendo como resultado balanços de grande amplitude.

Para evitar o sincronismo, deve-se alterar o rumo, a velocidade, ou ambos, alterando o período aparente das ondas em relação ao navio. Deve-se ter em mente que aproando ao mar, reduz-se o semiperíodo aparente das ondas; dando a popa ao mar, aumenta-se o semiperíodo aparente das ondas.

O **caturro (arfagem)** é a oscilação do navio no sentido longitudinal. Os navios curtos têm menor período de oscilação longitudinal e arfam (caturram) mais que os navios de maior comprimento.

Quando o período de oscilação do navio é pequeno, em comparação com o período aparente das ondas, ele tenderá a cavalgar as ondas, mantendo o convés paralelo ao declive da ondulação, como mostrado na figura 42.9 (a). Num mar de través, isto resultará em um balanço pesado e rápido. Num mar de proa, um pequeno período de caturro produzirá um movimento fácil e confortável, sem levantar muita água.

Figura 42.9 – Efeito das Ondas no Movimento de um Navio



Quando o período de oscilação do navio é grande, em comparação com o período aparente das ondas, com mar de través o balanço será fácil e confortável, embora o convés possa ser varrido por vagas que arrebatam contra o costado (figura 42.9b). Num mar de proa, um período de caturro comparativamente longo poderá resultar na enterrada ocasional da proa no mar, com a conseqüente exposição de hélices e lemes.

Quando o período aparente das vagas aproxima-se da sincronização com o período de balanço ou caturro, o movimento do navio torna-se violento. Num mar de través, isto poderá resultar em balanço muito forte e perigoso, enquanto que, em um mar de proa, o caturro severo e rápido pode causar disparo freqüente dos hélices e esforços de alquebramento excessivos.

Um importante efeito das ondas sobre um navio é a perda de estabilidade que ocorre quando o mesmo desliza sobre a crista de uma onda. Em um navio com uma baixa reserva de estabilidade, isto pode resultar em um perigoso aumento do balanço ou da banda (adernamento), particularmente com vento forte de través.

O **abatimento** e o **caimento** causados pelo efeito conjunto do mar (ondas), das correntes de superfície e do vento devem ser levados em conta pelo navegante, especialmente quando houver perigos a sotavento. A história mostra muitos casos de navios que encalharam ou naufragaram por não terem considerado o abatimento e o caimento na escolha do rumo a governar. A magnitude do **caimento** de um navio depende da sua velocidade, do seu calado, da sua borda livre e do seu rumo com relação à direção do vento e do mar, além da própria intensidade do vento, do mar e da corrente. Em ventos com força de tempestade, quando, somando-se ao vento e ao mar, atua uma corrente de superfície produzida pelo vento, a velocidade de caimento do navio (na perpendicular ao rumo base) pode ser maior que 2 nós, especialmente quando se navega em baixa velocidade.

42.4 MANOBRA DO NAVIO COM MAU TEMPO

– CAPEAR

Pôr o navio à capa ou capear é manter o navio com a proa chegada ao vento e ao mar, para agüentar o mau tempo, com pouco seguimento.

A decisão entre capear ou correr com o tempo tem de ser cuidadosamente tomada, levando-se em conta, entre outros aspectos, que a proa é mais reforçada que a popa e que foi projetada para agüentar o embate das ondas, e que um navio capeando caturra muito.

Capear normalmente faz com que se reduza o balanço até um nível aceitável, mas, por outro lado, torna o caturro (ou arfagem) máximo. A ação das ondas sobre o navio é mais violenta do que quando se corre com o tempo, pois o movimento das ondas é oposto ao movimento do navio.

Quando capeando, o período de oscilação longitudinal natural do navio (ou período natural de arfagem) muitas vezes assemelha ao semiperíodo aparente das ondas e o navio caturra violentamente. Do ponto de vista de possível avaria a bordo, o caturro é tão importante quanto o balanço. Quando o navio enterra sua proa sob toneladas de água, enquanto arfando num mar violento, há um tremendo esforço sobre sua estrutura.

Há duas boas indicações de que o navio está sendo severamente castigado quando capeando. A primeira é a forte pancada experimentada quando a proa sai de uma onda e choca-se com a onda seguinte. Isto produz um choque que pode ser sentido através do navio e é uma indicação da intensidade da força das ondas.

O segundo efeito é uma vibração vertical de baixa frequência, que se estabelece quando o navio se inclina longitudinalmente sob o peso da água embarcada na proa, ao mergulhar nas ondas. O rumo e a velocidade do navio devem ser ajustados para que nem estes choques, nem estas vibrações sejam de grande intensidade.

Na maioria dos casos, com mar pela proa (capeando) o navio se comportará melhor em baixa velocidade. Uma redução de apenas 2 nós pode ser a diferença entre choques fortes e um caturro aceitável.

Outra medida, se o caturro está excessivo, é alterar um pouco o rumo, para ter o mar pela bochecha. Isto fará com que as frentes de ondas apareçam menos abruptas.

A força do impacto das ondas varia com o produto da massa do navio pelo quadrado da velocidade relativa entre o navio e as ondas. Assim, uma pequena redução da velocidade

diminuirá consideravelmente a força do impacto das ondas. Uma mudança de rumo poderá, também, ter efeito semelhante.

O trim do navio também pode ter um efeito significativo no seu comportamento quando com mar de proa. Se o navio tem trim de proa, ele tenderá a enterrar a proa na água. De modo contrário, com trim de popa a proa tenderá a oscilar para um bordo e para o outro, tornando difícil manter o navio aproado ao mar. A melhor condição para um navio capeando é estar longitudinalmente compassado, ou com um pequeno trim de popa, assegurando que os hélices e lemes estarão bem imersos na água.

Uma redução da velocidade nem sempre garante uma diminuição do caturro. Navios pesados muitas vezes tornam-se menos confortáveis e embarcam mais água quando reduzem a velocidade com mar de proa. Quando em formatura, em companhia de navios menores, que necessitam de reduzir a velocidade quando capeando, pode ser melhor para os navios mais pesados manterem a velocidade original e navegarem em zig-zag, de modo a manter a mesma velocidade de avanço que os navios menores. Com ondas curtas e rápidas pela proa, pode ser possível aumentar a velocidade até um ponto em que o período aparente das ondas seja significativamente reduzido e o navio possa progredir confortavelmente, com pequeno caturro.

O caturro também pode ser algumas vezes reduzido pela alteração de rumo, trazendo o mar para a bochecha, mas o movimento resultante da combinação do balanço e do caturro pode ser mais desconfortável e resultar em maior embarque de água. Contudo, esta ação pode ser essencial para evitar que a popa seja continuamente elevada fora da água, causando disparo dos hélices e, assim, possibilidades de avarias nos eixos, mancais e pás dos hélices.

Então, são as seguintes as conclusões sobre a manobra de **capear**:

- Com o navio aproado ao mar, o período aparente das ondas diminui à medida que se aumenta a velocidade. Normalmente, todo aumento de velocidade aproxima o navio do sincronismo com a vaga, fazendo-o caturrar violentamente; por isso, deve-se reduzir a velocidade, como norma geral;

- se o navio estiver muito castigado com a proa perto da linha do vento, pode-se tentar manter o rumo com o vento aberto de 30° a 45° pela bochecha e com a velocidade reduzida ao mínimo possível para manter o governo; e

- quando capeando, deve-se ter o máximo de cuidado para não atravessar ao mar, utilizando as máquinas (conjugado) se necessário.

– **CORRER COM O TEMPO**

É navegar com o mar de popa, o mais lentamente possível. Com o mar de popa, a redução de velocidade também se impõe, porque, à proporção que a velocidade aumenta, aproxima-se da velocidade de propagação das ondas e o navio fica sem movimento relativo com respeito às ondas. Nesta situação, o navio terá menos eficácia no leme (capacidade de governo) e poderá ficar muito tempo em posições críticas, tais como estando apoiado sobre duas cristas consecutivas nas extremidades, ou sobre uma crista a meio, quando o comprimento da onda for sensivelmente igual ao comprimento do navio.

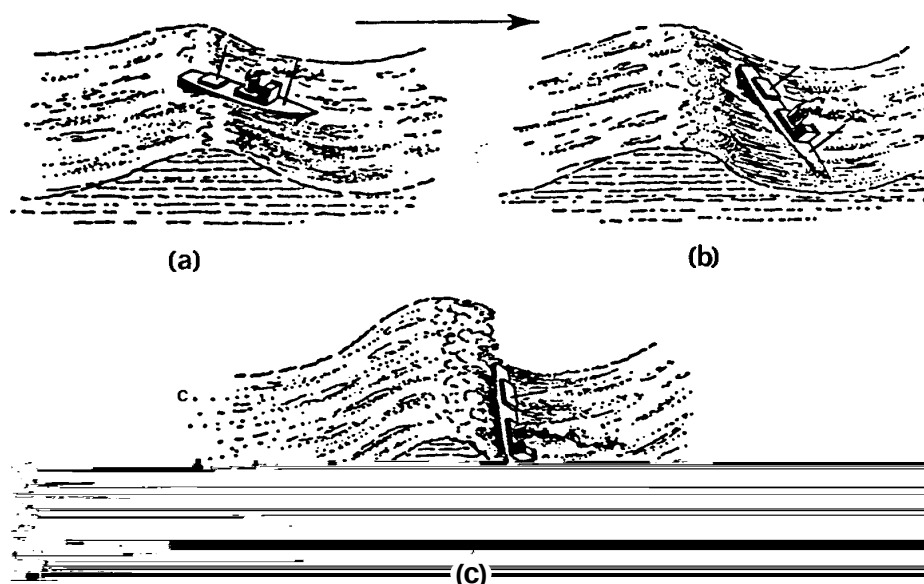
Ademais, quando se navega com a mesma velocidade com que se propagam as ondas, o navio é alternadamente acelerado pela frente da onda e, após a crista passar, retardado pelo seu dorso. Isto, combinado com a tendência de deslizar, que existe quando o navio está na crista da onda e que pode fazê-lo atravessar ao mar, torna desejável navegar

a uma velocidade diferente da velocidade de propagação das ondas, de modo que o navio tenha um pequeno, porém constante, movimento relativo com respeito às ondas, evitando-se, assim, o movimento instável.

Alguns navios não podem dar a popa ao mar, devido às más condições de governo (muito leves, popa muito alta, etc.). Nessas condições, se for mantido um rumo de modo a ter o vento de 30° a 45° pela alheta, os navios se agüentam relativamente bem.

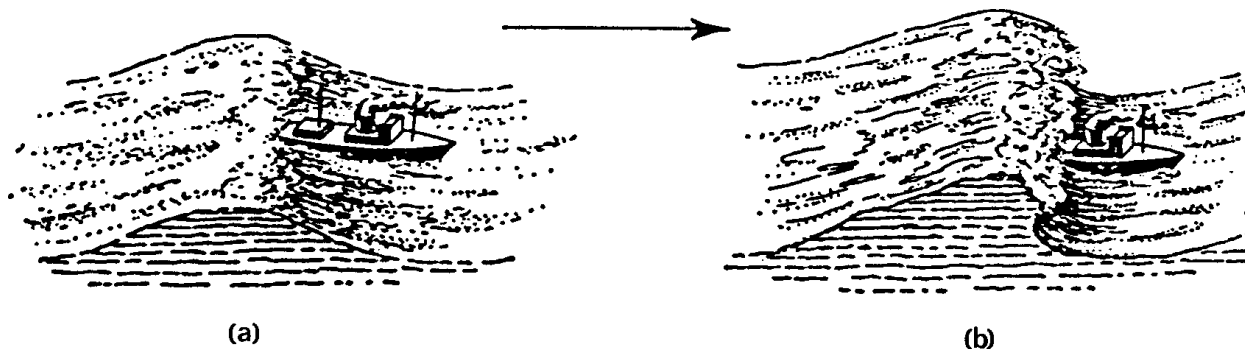
Ao escalar a crista da onda, se esta quebrar, todo o navio será carregado para vante com a arrebentação e poderá planar (deslizar) com a onda, como se estivesse “surfando”. O movimento da água para vante, com relação ao leme e hélices, reduzirá a capacidade de governo, e o navio poderá cabecear para BE ou para BB, guinando de uma maneira tal que seja impossível de corrigir e, finalmente, atravessando ao mar. Estes estágios são mostrados, de forma simplificada, na figura 42.10. O navio, então, começa a balançar violentamente e, se uma segunda onda atingi-lo de modo a reforçar o balanço, poderá emborcar.

Figura 42.10 – Estágios de um Navio Atravessando ao Mar



Se o navio estiver adiante de uma onda que se quebra, a água pode varrê-lo da popa à proa, causando avarias (figura 42.11).

Figura 42.11 – Navio Alcançado por uma Onda Arrebentando



Entre estes perigos, é da maior importância evitar “surfar” e atravessar ao mar; isto pode ser obtido reduzindo a velocidade do navio para um valor bem abaixo da velocidade das ondas. Para estar seguro, a velocidade do navio deve ser pelo menos 40% menor que a velocidade de propagação das ondas. Apesar dos riscos, muitos navios preferem correr com o tempo, em vez de capear, para evitar avarias.

Ao correr com o tempo na direção de um estuário, ou de águas rasas, deve ser lembrado que as ondas tornar-se-ão mais altas e escarpadas à medida que a profundidade diminui, aumentando os perigos de atravessar ao mar e as dificuldades para navegar em um canal estreito. A navegação correndo com o tempo requer uma constante supervisão do governo do navio pelo Oficial de Quarto e o estabelecimento de quartos de serviços menores para o timoneiro.

Conclusões sobre **correr com o tempo**:

- Correndo com o tempo a velocidade deve ser reduzida a um mínimo possível que permita manter o governo;
- as condições de compasso do navio, particularmente o trim, influirão muito no comportamento do navio. Para correr com o tempo, é melhor ter algum **trim de popa**; e
- muitas vezes é difícil manter o navio a caminho com o mar de popa ou de alheta. Para melhorar as condições de governo, pode-se largar uma âncora flutuante, amarrada ao chicote de uma espia, a barlavento.

– **SOBREVIVÊNCIA DO NAVIO EM MARES TEMPESTUOSOS**

Durante um furacão, tufão ou ciclone, as ondas perdem sua forma normal, conforme suas cristas são despedaçadas pelo vento e o ar torna-se uma mistura de chuva e “spray” (borrifos). Nesta situação, se o navio perde propulsão ou energia elétrica, ele perde a habilidade para controlar seus movimentos e fica à mercê do mar. Um navio sem máquinas e sem leme irá atravessar ao mar e sucumbir.

Âncoras flutuantes e sacos de óleo ainda têm o seu lugar na moderna marinharia, sob circunstâncias especiais, mas, quando o navio se encontra “in extremis”, as condições são normalmente tão severas que impossibilitam qualquer trabalho no convés.

Os principais guias de sobrevivência numa severa tempestade são:

- Mantenha a propulsão e a energia elétrica;
- mantenha a flutuabilidade; e
- mantenha a estabilidade.

Para preservar estas propriedades vitais, a estanqueidade do navio deve ser assegurada. À primeira previsão de uma piora de tempo, antes mesmo de quaisquer sinais de uma tempestade severa, o navio deve ser preparado para mau tempo. Todo material externo deve ter sua peiação verificada e reforçada; todas as portas estanques, escotilhões, escotilhas, vigias e outros acessórios estanques devem ser fechados. As elipses dos tanques devem ser verificadas.

A causa mais comum de perda de energia elétrica é o “aterramento” do quadro elétrico principal quanto atingido por água salgada. Assim, o quadro elétrico tem que ser protegido, assim como deve ser verificado o fechamento de todas as passagens e ventilações nas vizinhanças de geradores e quadros elétricos.

A flutuabilidade e a estabilidade do navio caminham juntas. Para manter o centro de gravidade baixo, o navio deve estar adequadamente lastrado. Superfície livre deve ser evitada sempre que possível, e todos os tanques devem estar ou completamente cheios ou completamente vazios. Todos os compartimentos que devem estar secos precisam ser mantidos nesta condição. Os porões devem ser esgotados e, se se acumular água num compartimento que deve estar normalmente seco esta precisa ser esgotada imediatamente. Se o navio está convenientemente lastrado, se a superfície livre é mantida num mínimo e se a flutuabilidade é garantida, o navio deve suportar a tempestade.

O segredo para controlar o navio em uma tempestade é **MANTÊ-LO FORA DO CAVADO DAS VAGAS**. Se o rumo do navio faz um ângulo com o mar (se está inclinado em relação ao mar), há uma tendência a forçá-lo a atravessar ao mar.

Se o navio atravessa ao mar, a ondas arrebentarão no seu costado e ele balançará descontroladamente. Uma vez no cavado (i.e., atravessado ao mar), é muito difícil escapar daí, porque qualquer controle que o leme e os hélices possam exercer sobre o navio é sobrepujado pela ação das vagas. A melhor manobra para tentar sair do cavado consiste em **dar adiante toda força** (velocidade máxima), para assegurar o máximo efeito do leme. Na maioria dos casos, é recomendável guinar para sotavento, para pegar o mar de popa, porque isto garante ao navio um maior intervalo de tempo até ser alcançado pela próxima onda que se sucede.

A escolha entre capear e correr com o tempo é importante. O navio é feito para agüentar as ondas mais severas de proa. A forma da proa é projetada para isso e, de modo geral, a estrutura de vante do navio é reforçada para agüentar mar pesado. Entretanto, quando se está capeando, a velocidade do navio é somada à do mar, e o impacto resultante é maior, e não se pode reduzir muito a velocidade, para não correr o perigo de perder o governo e atravessar. Assim, quando capeando, deve-se manter a menor velocidade com que seja possível garantir o governo.

Quando se corre com o tempo, reduz-se a velocidade relativa das ondas de um valor igual à velocidade do navio, mas se está expondo a popa à frente de ondas e a popa não tem a forma adequada, nem é reforçada para resistir à ação direta das vagas. Entretanto, se for possível manter uma velocidade tal que a velocidade relativa das vagas seja baixa, a popa comportar-se-á bem sob a ação reduzida das vagas. Enquanto as ondas não estiverem arrebentando na popa, correr com o tempo é o método menos penoso de livrar-se de uma tempestade. A escolha entre **capear e correr com o tempo** dependerá, também, da posição do centro da tempestade, como veremos adiante.

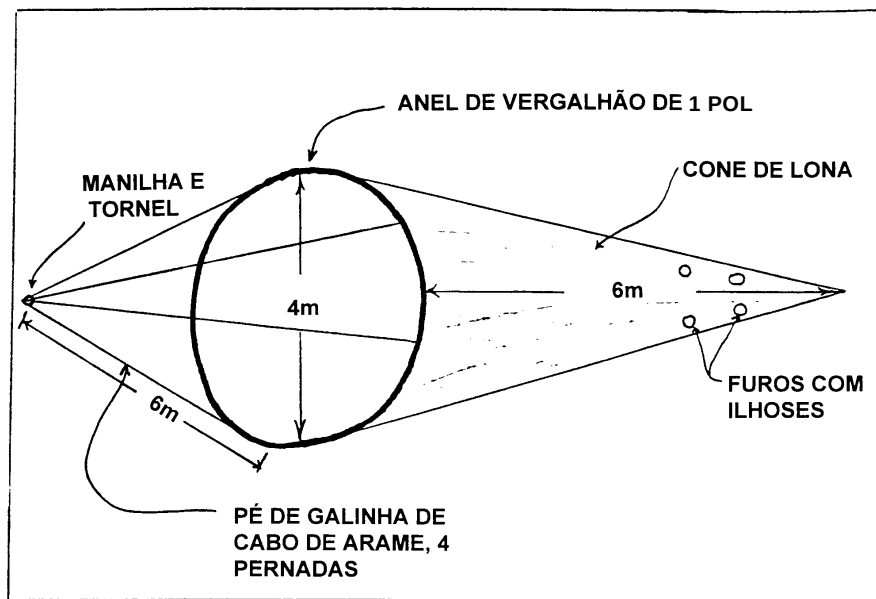
Quando a tempestade tem **força de furacão**, capear é a melhor solução; correr com o tempo é arriscado demais. Como já visto, o navio é construído para agüentar melhor mar de proa. Deve-se, então capear com o **MÍNIMO DE VELOCIDADE POSSÍVEL**, pois à energia da tormenta é somada a do movimento do navio adiante.

Quando vier mau tempo não é suficiente dar a ordem “**PREPARAR PARA MAU TEMPO**”; é necessária, também, uma inspeção rigorosa no navio, para verificar se todas as providências foram realmente tomadas (fechamento de portas, escotilhas e outras passagens; desligamento de ventilações; peiação de carga e material volante; instalação de linhas de vida, etc.).

– ÂNCORA FLUTUANTE (DROGUE)

Âncoras flutuantes podem ser muito úteis para navios de pequeno porte, embarcações menores e, sobretudo, veleiros, que são os mais castigados pelas tormentas. Um tipo eficiente de âncora flutuante para navio pode ser visto na figura 42.12(a).

Figura 42.12 a – Âncora Flutuante Cônica



Uma âncora flutuante também pode consistir de duas fortes vergas ou barras de ferro cruzadas e ligadas por uma cavilha ou botão em cruz, tendo as quatro extremidades unidas por uma corrente, onde é costurada uma lona resistente, como mostrado na figura 42.12(b). Uma espia é ligada à armação deste grande papagaio por intermédio de um pé-de-galinha formado por 4 pernadas de corrente ou cabo de aço (uma pernada em cada braço, a cerca de 1/3 do centro). Na extremidade de um dos braços amarra-se um pedaço de corrente com um ancorote, que servirá de lastro para manter a âncora flutuante na vertical. No extremo oposto passa-se um cabo de recolha para, alando por ele e colhendo a espia, trazer a âncora ao navio.

Uma âncora flutuante pode ser improvisada em pouco tempo com um toldo cosido em uma verga de comprimento aproximadamente igual à boca do navio, tendo como cauda um pedaço de amarreta, conforme ilustrado na figura 42.12(c). As pequenas embarcações usam âncoras flutuantes de forma cônica, conhecidas por **drogues**.

Figura 42.12 b – Âncora Flutuante Tipo “Papagaio”

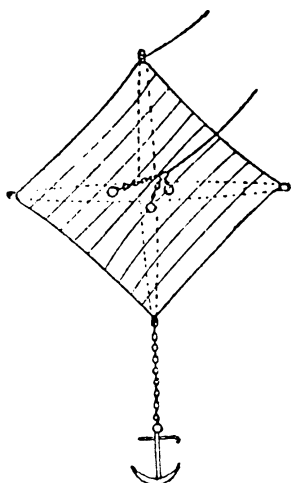
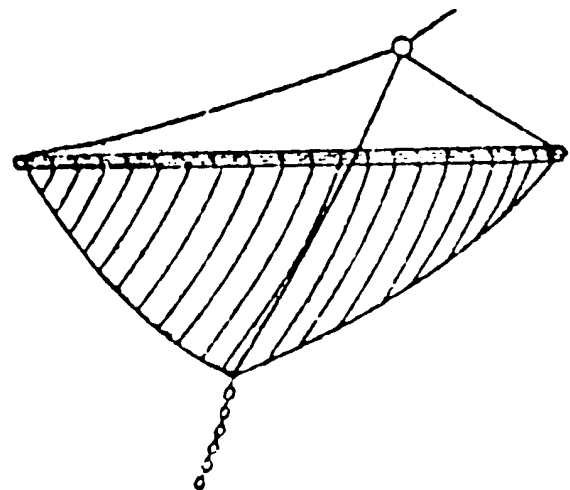


Figura 42.12 c – Âncora Flutuante Improvisada (de Fortuna)



Uma âncora flutuante (“sea anchor”) é lançada com os seguintes propósitos:

- (a) Manter o navio no rumo desejado, ou próximo dele, capeando ou correndo com o tempo;
- (b) reduzir o abatimento do navio; e
- (c) manter o navio em posição conveniente, em caso de avaria nas máquinas ou no leme durante um temporal, evitando que acesse ao mar.

O cabo de reboque da âncora flutuante deve ter grande comprimento.

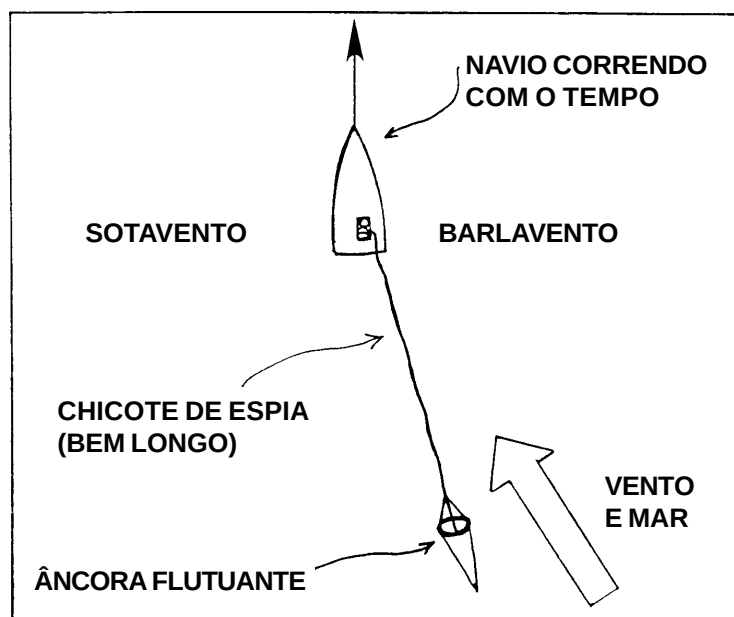
O emprego da âncora flutuante, porém, só é eficaz nos pequenos navios e é principalmente nos veleiros que se colhem bons resultados. A principal aplicação da âncora flutuante é o seu lançamento pela proa, para manter o navio capeando, com a proa apontando diretamente para a direção de onde sopra o vento e de onde vem o mar. Como a proa apresenta uma superfície passível de menos arrasto pela tormenta que a popa, além de ser mais resistente, os esforços sobre o navio são reduzidos. O efeito da âncora flutuante praticamente pára a embarcação, até a passagem da tempestade. Esta técnica tem sido usada com muito sucesso por embarcações menores, de pesquisa, pesca, esporte e recreio. Veleiros podem usar uma âncora flutuante para ajudar a capear em árvore seca.

Em particular para um veleiro, a grande vantagem do emprego de uma âncora flutuante, com relação a capear simplesmente em árvore seca, ou correr com o tempo rebocando espias, é a de reduzir com maior eficácia a deriva para sotavento. Isto pode ser muito útil em águas onde as costas a sotavento ficam perigosamente próximas.

Entretanto, o uso de uma âncora flutuante para capear pode acarretar grandes esforços sobre a estrutura (causados pelo drogue e por seu cabo de reboque) e sobre o leme (devido à saída da água a ré da embarcação). A alternativa é rebocar a âncora flutuante pela popa.

Quando correndo com o tempo, a âncora flutuante deve ser lançada pela popa, a barlavento, usando um chicote de espia bem longo (figura 42.13).

Figura 42.13 – Lançamento de Âncora Flutuante, Navio Correndo com o Tempo



– USO DE ÓLEO PARA ACALMAR O MAR

A experiência mostra que há **grande aderência entre o ar e a água**, de modo que, quando o **vento** incide sobre as **ondas** com velocidade muito maior que estas, as camadas mais baixas do ar, em contato com a água, tendem a carregar as partículas líquidas. Isto tem por efeito:

- (a) Distorção do perfil da onda na direção do vento; e
- (b) rompimento da crista das ondas na parte mais alta, que avança para sota-vento (formando, assim, os golpes de mar que se precipitam com violência sobre o navio).

Quando se joga óleo ao mar, ele se espalha rapidamente, formando uma película de grande resistência, que impede a aderência do vento com a água e que não participa do movimento das moléculas de água que formam as ondas. Assim, o óleo evita a desagregação das cristas das ondas, obtendo-se uma ondulação mais suave, que passa pelo navio, em vez de se quebrar sobre ele, em golpes de mar. A ação do óleo é menos eficaz junto à costa, onde as ondas sofrem outras influências, como o pouco fundo e as ressacas. Entretanto, o óleo tem sido usado em águas relativamente pouco profundas, nas entradas dos portos.

O lançamento de pequenas quantidades de óleo na superfície do mar evitará que as ondas se quebrem e reduzirão o efeito do vento na formação de cristas escarpadas nas vagas; entretanto, ele não contribui para reduzir o marulho. Óleos vegetais (óleo de linhaça e óleo de rícino) e óleos de origem animal (óleo de peixe ou de baleia) são mais eficazes que óleos minerais, e óleos pesados são melhores que óleos mais leves.

As quantidades recomendadas para se ter a bordo são de 50 galões, ou cerca de 200 litros, sendo o consumo muito pequeno, pois uma quantidade de 8 litros/hora é considerada suficiente para os navios grandes. Para lançamento do óleo podem ser empregados sacos de lona, de 4 a 10 litros de capacidade, que podem ser feitos a bordo (com lona nº 2), reforçados por cabos finos de fibra e com um pequeno lastro no fundo, para evitar que saltem na água. São cheios de estopa embebida em óleo e recebem alguns furos com agulhas de palombar, para a saída do óleo (um saco de 0,5 m de comprimento e 0,2 m de diâmetro pode conter estopa e 4 litros de óleo). Além disso, deita-se o óleo nos próprios embornais e dalas do costado e, até mesmo, nas descargas das privadas, sendo o óleo usado em pequenas quantidades, pouco a pouco, para evitar desperdícios. No caso de lançamento por sacos de lona, estes são amarrados a espigas compridas a barlavento, ficando o mais afastado possível, de modo que, enquanto o óleo vai se espalhando naquela área, o navio vai abatendo para sotavento.

O óleo provavelmente não produzirá qualquer efeito se o navio estiver com uma velocidade maior que 4 nós. O modo de distribuição do óleo depende da situação do navio com relação ao mar:

(a) **Navio correndo com o tempo:** deita-se o óleo na bochecha de barlavento, através de sacos, dalas, embornais e descargas de vante. Se o navio estiver cabeceando muito, o óleo deve ser distribuído por ambos os bordos, na proa e a meio navio;

(b) **com mar de través:** deita-se o óleo ao longo do costado de barlavento (por vários sacos espaçados de 15 em 15 metros, aproximadamente);

(c) **com mar de proa (capeando):** deita-se o óleo pelos embornais, dalas e descarga de vante, por ambos os bordos. No caso de uso de sacos de óleo, eles tenderiam

a ser jogados contra o navio pelas vagas de proa; esta dificuldade pode ser contornada instalando uma espécie de pau de surriola para disparar os sacos de óleo, mantendo-os afastados do navio;

(d) **com mar desencontrado** (como acontece próximo ao olho de um furacão, ou depois da passagem do centro pela área): deita-se o óleo por ambos os bordos, da proa à popa;

(e) **em reboque**: deita-se o óleo pelo rebocador, avante, a meia nau e na popa, por ambos os bordos, para proteger tanto o navio rebocado quanto o rebocador;

(f) **demandando uma barra**: com maré enchente, deita-se o óleo a vante, porque assim se aproveita a corrente de maré para ir arrastando o óleo pela proa do navio. Deita-se, também, óleo na popa; e

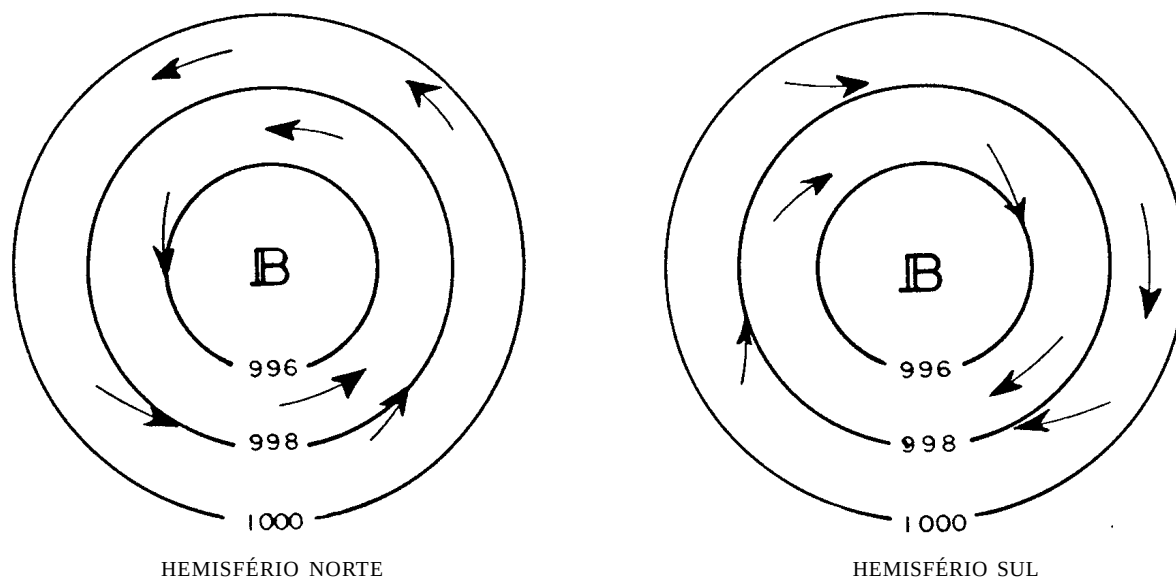
(g) **com o navio fundeado**: o óleo deve ser distribuído avante do navio, por meio de sacos de lona amarrados, através de uma espia, a um dos elos da amarra; entretanto, não se deve enfrentar um temporal com o navio fundeado em áreas pouco protegidas.

42.5 FORMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DAS TEMPESTADES E CICLONES TROPICAIS

a. INTRODUÇÃO

Um ciclone é uma depressão barométrica ou baixa (B), delimitada por uma série de isóbaras fechadas, ovais ou quase circulares, que envolvem uma área de pressões baixas, isto é, uma área onde as pressões decrescem da periferia para o centro. Os ventos em torno de um ciclone giram no sentido anti-horário no Hemisfério Norte e no sentido horário no Hemisfério Sul (figura 42.14). Os ciclones são divididos em **ciclones extratropicais** e **ciclones tropicais**.

Figura 42.14 – Circulação do Vento em Torno de uma Baixa



Os **ciclones tropicais** originam-se nas zonas tropicais, sobretudo nas faixas situadas entre os paralelos de 5° e 20° de Latitude, nos dois hemisférios. Embora, em geral, se pareçam com os ciclones extratropicais, que têm sua gênese em Latitudes mais altas, há importantes diferenças, sendo a principal a concentração, nos ciclones tropicais, de uma enorme quantidade de energia em uma área relativamente pequena. Apesar de menos freqüentes, em comparação com as tempestades de médias e altas Latitudes, os ciclones tropicais têm um poder de destruição que excede em muito o de qualquer outro tipo de tempestade. Por causa de sua fúria e por serem fenômenos predominantemente oceânicos, os ciclones tropicais merecem uma atenção especial de todos os navegantes, profissionais ou amadores. A melhor manobra frente a uma tempestade ou ciclone tropical é, se possível, evitá-lo.

b. CLASSIFICAÇÃO

Em sucessivos estágios de intensificação, os ciclones tropicais podem ser classificados como perturbação tropical, depressão tropical, tempestade tropical e furacão ou tufão.

– **Perturbação tropical:** é um sistema convectivo discreto, geralmente com 100 a 300 milhas de diâmetro, com caráter migratório e não-frontal (ou seja, não está associado a uma frente), e que mantém sua identidade por 24 horas, ou mais. Pode, ou não, estar associada com uma perturbação notável no campo de ventos. Uma perturbação tropical não apresenta ventos fortes, nem isóbaras fechadas (isto é, isóbaras que circundam completamente a baixa).

– **Depressão tropical:** é uma baixa mais desenvolvida, que já apresenta uma ou mais isóbaras fechadas e alguma circulação rotativa na superfície. O vento máximo mantido é de 33 nós (força 7 na Escola Beaufort).

– **Tempestade tropical:** apresenta um sistema de isóbaras fechadas em torno do centro da baixa e uma nítida circulação rotativa. O vento máximo mantido de superfície varia de 34 a 63 nós (forças 8 a 11 na Escala Beaufort).

– **Furacão ou tufão:** apresenta um pronunciado sistema de isóbaras fechadas em torno do centro da depressão e uma circulação rotativa muito intensa, com ventos de 64 nós, ou mais, de velocidade (força 12 na Escala Beaufort).

c. ÁREAS DE OCORRÊNCIA, ÉPOCAS E FREQUÊNCIAS

Na faixa entre o Equador e a zona de alta pressão extratropical (cerca de 30° N e 30°S) mostrada na figura 42.15, formam-se os ciclones tropicais, que ocorrem, quase que inteiramente, em 6 regiões distintas, sendo 4 no Hemisfério Norte e 2 no Hemisfério Sul, conforme representado na figura 42.16. O nome pelo qual o ciclone tropical é conhecido varia com a região onde ocorre.

– **Região I – Atlântico Norte:** embora ciclones tropicais possam afetar o Oceano Atlântico Norte em qualquer mês, a maior ameaça situa-se ao sul do paralelo de 35° N, no período de **junho a novembro**. **Agosto, setembro e outubro** são os meses de incidência mais alta. Cerca de 9 a 10 ciclones tropicais (tempestades tropicais e furacões) formam-se em cada estação; 5 ou 6 alcançam intensidade de furacão (ventos de 64 nós, ou mais). Alguns furacões já geraram ventos cuja velocidade foi estimada em 200 nós. No início e no final da estação de furacões, as tempestades normalmente se desenvolvem a Oeste do meridiano de 050° W; no auge da estação (meses de agosto e setembro), entretanto, a área de gênese estende-se para Leste até o arquipélago de Cabo Verde.

Estas tempestades, em geral, movem-se para W, ou para WNW, com velocidades da ordem de 15 nós nas Latitudes mais baixas. Quando alcançam o Norte do Mar do Caribe ou a região das Grandes Antilhas, podem penetrar no Golfo do México ou recurvar para a direita, acelerando conforme se propagam pelo Oceano Atlântico Norte. Algumas tempestades recurvam após alcançar o Golfo do México, enquanto outras prosseguem para W até alcançar a costa. No Oceano Atlântico Norte, os ciclones tropicais totalmente desenvolvidos (com ventos de mais de 64 nós) são denominados **furacões**.

Figura 42.15 – Circulação Geral da Atmosfera e Zonas de Altas e Baixas Pressões Semi-Permanentes

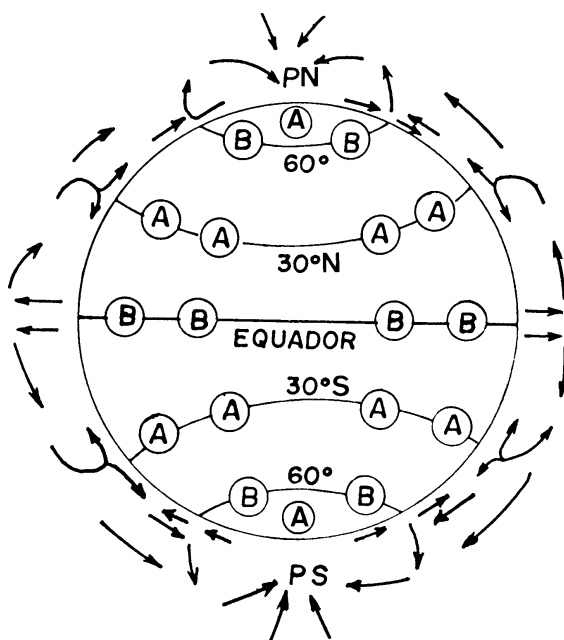
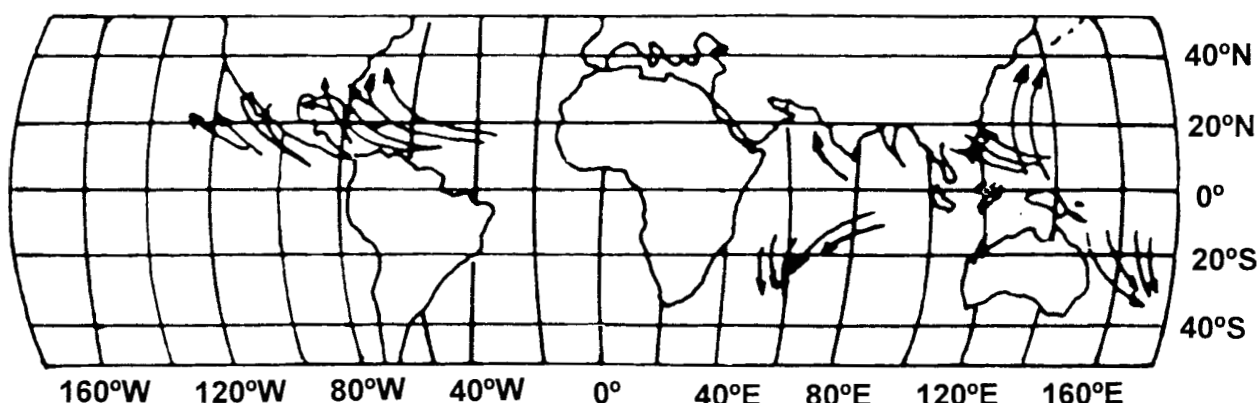


Figura 42.16 – Áreas de Ocorrência e Trajetórias de Ciclones Tropicais



– **Região II – Pacífico Nordeste:** ao longo da costa ocidental da América Central e da costa Oeste do México, a estação de ciclones tropicais estende-se de **junho** a **outubro/novembro**, embora possam se formar tempestades em qualquer mês. Uma média de 15 ciclones tropicais (tempestades tropicais e furacões) formam-se a cada ano, com cerca de 6 alcançando força de furacão. As tempestades mais intensas são, muitas vezes, as de início e término da estação; estas têm suas gêneses próximo da

costa e bem para o sul. As tempestades do meio da estação formam-se em qualquer lugar de uma larga faixa situada entre a costa do México/América Central e o Hawaii. **Agosto e setembro** são os meses de maior incidência. Estas tempestades são, normalmente, menores em tamanho do que as suas contrapartes do Atlântico Norte, embora possam ser tão intensas como aquelas. No Pacífico Nordeste também se usa a denominação **furacão** para os ciclones tropicais mais fortes (ventos > 64 nós).

– **Região III – Pacífico Noroeste:** esta é a área da Terra onde se forma o maior número de ciclones tropicais. Mais de 25 se desenvolvem anualmente e cerca de 18 tornam-se tufões. Estes **tufões** são os maiores e mais intensos ciclones tropicais do mundo. A cada ano, uma média de 5 geram ventos de mais de 130 nós de velocidade; circulações ciclônicas intensas cobrindo mais de 600 milhas são comuns. A maioria destas tempestades forma-se a Leste das Filipinas, movendo-se para **W** através do Oceano Pacífico, na direção das Filipinas, Japão e China; umas poucas têm suas gêneses no sul do Mar da China. A estação estende-se de **abril a dezembro**, com algumas tempestades durante todo o ano (ciclones tropicais fora da estação são mais comuns nesta área que em qualquer outro lugar). O pico da estação ocorre no período de **julho a outubro**, quando se desenvolvem quase 70% dos **tufões**. Há uma notável mudança sazonal na trajetória das tempestades nessa região; de **julho a setembro**, os **tufões** ou tempestades tropicais movem-se ao norte das Filipinas e depois recurvam para a direita, enquanto no início e no término da estação os ciclones tropicais deslocam-se num rumo **W** através das Filipinas, antes de recurvarem. No Pacífico Noroeste um ciclone tropical totalmente desenvolvido é denominado de **tufão** (palavra que significa “vento forte” na língua falada na ilha de Formosa, ou Taiwan); nas Filipinas é chamado de **baguio**.

– **Região IV – Oceano Índico Norte:** ciclones tropicais se desenvolvem no Golfo de Bengala e no Mar da Arábia durante a primavera e o outono (do Hemisfério Norte), isto é, de **maio a junho** e de **outubro a novembro**. Os ciclones tropicais nesta área formam-se entre as Latitudes de 08° N e 15° N, exceto de junho/julho a setembro, quando a pequena atividade que ocorre fica confinada ao norte do paralelo de 15° N. Estas tempestades são, normalmente, mais fracas e de vida curta; entretanto, ventos de 130 nós já foram registrados. Muitas vezes, elas se desenvolvem como perturbações ao longo da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ – “Intertropical Convergence Zone”); isto inibe sua formação durante o verão, quando a ITCZ está, normalmente, sobre terra (estação de monções de SW). Contudo, a ITCZ é algumas vezes deslocada para o sul durante o verão e, quando isto ocorre, formam-se ciclones tropicais sobre as planícies inundadas de Bengala, com grande devastação em Bangla Desh. Em média, formam-se no Oceano Índico Norte 6 tempestades ciclônicas a cada ano, sendo que 2 geram ventos de grande intensidade (> 48 nós). Anualmente, outros 10 ciclones tropicais desenvolvem-se na região apenas até o estágio de depressão tropical (vento máximo de 33 nós). O Golfo de Bengala é a área de maior incidência, porém não é raro uma tempestade mover-se através do sul da Índia e reintensificar-se no Mar da Arábia, principalmente no mês de **outubro**, que é o de mais alta frequência de ocorrência do fenômeno na estação de ciclones tropicais. É também durante tal período que chuvas torrenciais dessas tempestades caem sobre as planícies já inundadas, causando cheias desastrosas. No Oceano Índico Norte os fenômenos intensos são chamados de **ciclones** ou **tempestades ciclônicas**.

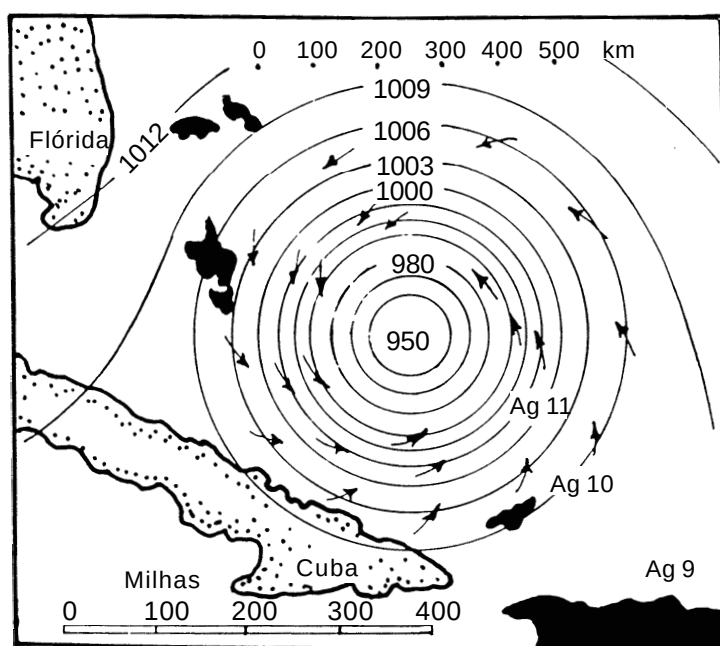
– **Região V – Oceano Índico Sul:** tempestades tropicais ocorrem nas águas a Oeste do meridiano de 100° E, até a costa Leste da África, de **dezembro a abril**, de 05° S até 25° S, sendo comparativamente raras de maio a novembro. Uma média de 11 ciclones

tropicais formam-se a cada ano na região e cerca de 6 por ano alcançam completo desenvolvimento (ventos > 64 nós), sendo, então, denominados de **ciclones**. Os fenômenos têm suas gêneses na parte Oeste do Oceano Índico Sul, entre as Latitudes de 07° S e 15° S. O rumo inicial da trajetória situa-se entre WSW (250°) e SSW (200°); depois, recurvam-se para a esquerda (entre as latitudes de 15° S e 20° S) e seguem uma trajetória SE (135°), como mostrado na figura 42.17. A Latitude de recurvatura normalmente migra de cerca de 20° S, em janeiro, para em torno de 15° S, em abril. A velocidade do deslocamento do sistema é de 10 a 15 nós antes de recurvar, aumentando para 20 a 25 nós após a recurva

d. GÊNESE E CARACTERÍSTICAS

As faixas situadas entre os paralelos de 5° e 20°, nos dois hemisférios, são freqüentemente perturbadas, sobretudo no fim da estação quente, por depressões intensas e profundas, que produzem ventos violentíssimos e precipitações torrenciais. Os ciclones tropicais só se formam sobre os oceanos, onde existe ar úmido, quente, convectivamente instável até grandes alturas, e naquelas Latitudes em que a Força de Coriolis é suficiente para transformar a convergência em circulação fechada, isto é, em Latitudes nunca inferiores a 5°. A configuração final de um ciclone é sempre a de um turbilhão violento, sem frentes, de 50 a 800 milhas de diâmetro (500 milhas, em média), de pronunciado gradiente bórico e isóbaras quase circulares, conforme representado na figura 42.18.

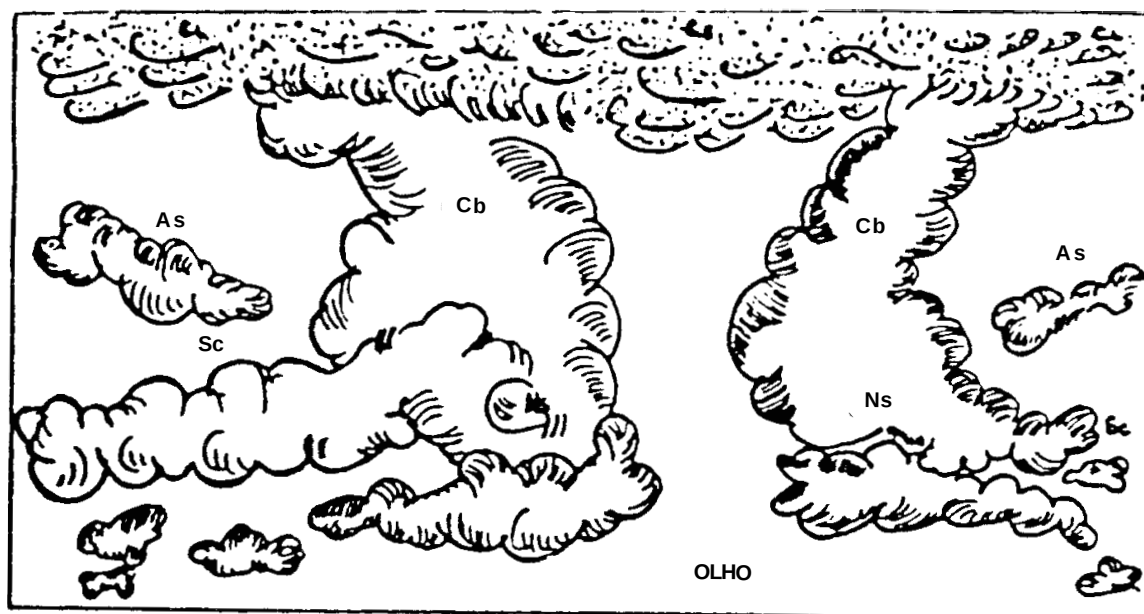
Figura 42.18 – Cilclone Tropical



A intensa convecção produz grandes aglomerados de cumulonimbus, mostrados na figura 42.19. Os ciclones tropicais são essencialmente um fenômeno marítimo, pois não podem existir sem um suprimento contínuo de ar úmido e instável. Rapidamente se dissipam quando privados deste suprimento e, quando invadindo um continente, têm a circulação retardada pelo atrito.

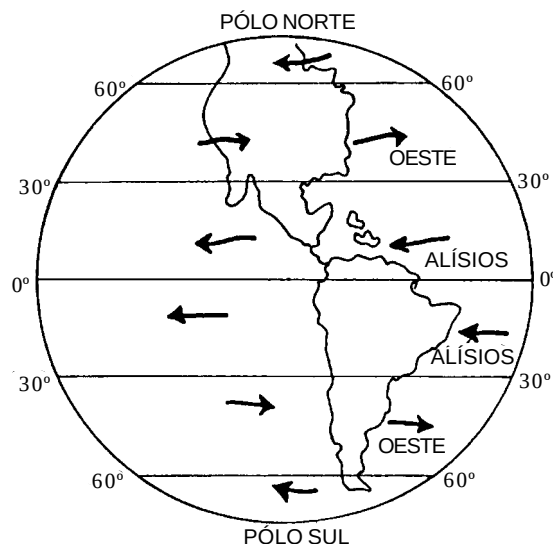
Os ciclones tropicais formam-se tendo como origem uma perturbação sinótica (baixa) pré-existente, entre 5° e 20° de latitude. A intensificação (aprofundamento) pode ser um processo de evolução lenta, exigindo dias inteiros para que se desenvolva. Pode, porém, seguir um ritmo acelerado, bastando 12 horas para produzir um **olho** perfeitamente formado. Nem todos os ciclones tropicais transformam-se em furacões. Algumas tempestades dissipam-se em menos de 24 horas, mesmo com ventos atingindo grandes intensidades. Outras percorrem grandes distâncias como simples depressões tropicais (vento máximo de 33 nós). Se houver intensificação, a pressão mais baixa torna-se inferior a 1.000 mb e o sistema se estrutura, girando em espiral em direção ao centro. Quando atinge a maturidade, a pressão à superfície deixa de baixar no centro da depressão, ao mesmo tempo em que a velocidade do vento pára de crescer. Em lugar disso, a circulação se expande durante este estágio, que pode durar até uma semana. Ventos com força de furacão podem soprar em um círculo de 30 a 50 km de raio no início do estágio de maturação, aumentando o raio para cerca de 300 km quando o processo está completo.

Figura 42.19 – Concentração de Cumulonimbus (Cb) no Ciclone Tropical



Quando o ciclone recurva (para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul) e penetra na faixa dos ventos Oeste (figura 42.20), seu tamanho se reduz e o sistema, normalmente, se enfraquece. Noutras ocasiões, somente diminuem as características tropicais.

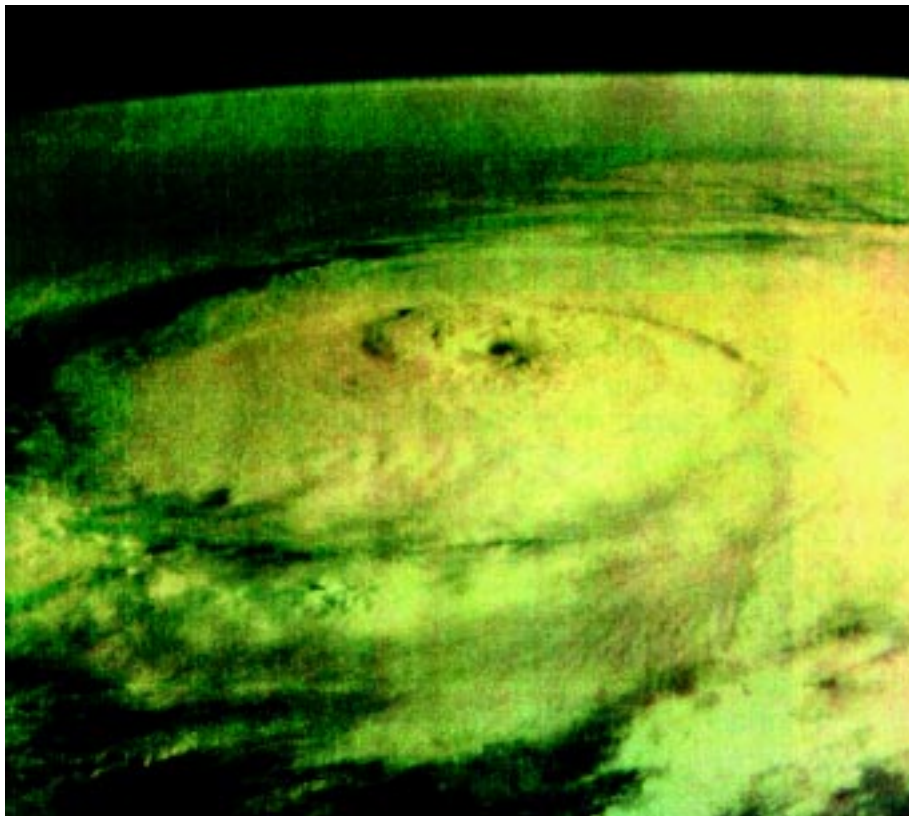
Figura 42.20 – Os Ciclones Tropicais se Enfraquecem quando Penetram na Faixa dos Ventos Oeste



No centro do ciclone tropical existe, normalmente, uma área de 10 a 15 milhas de diâmetro denominada de **olho da tormenta** (em média, o diâmetro do olho é de cerca de 14 milhas, embora diâmetros de 25 milhas não sejam incomuns). Nessa área, de calma relativa, a temperatura é mais alta e a umidade mais baixa que no resto da tormenta, a pressão é mínima e o vento fraco e variável (10 a 15 nós), mas o mar é revolto e desencontrado. Ao redor da periferia do olho, a velocidade do vento aumenta rapidamente, de calma relativa a completa fúria. As nuvens, que se dispunham em camadas delgadas, com aberturas no olho, tornam-se pesadas, com espessos cumulonimbus, ventos extremamente fortes e chuvas torrenciais. A figura 42.21 mostra uma fotografia satélite de um furacão, com ventos de 120 nós girando em torno de uma

depressão de 940 mb. Ventos com força de furacão estendem-se por 50 milhas em todas as direções, produzindo mar com ondas de 40 pés (12 metros) de altura. O sistema já atingiu a maturidade, não havendo mais intensificação, porém o furacão começa a se expandir; em 2 dias ventos com força de tempestade (34 a 63 nós) estendem-se para fora até 200 milhas do olho, enquanto ventos com intensidade de furacão (>64 nós) alcançam 75 milhas do centro. Então, o furacão começa a recurvar e diminui sua violência; esta curva marca o início do seu fim. Se for uma tempestade de agosto, sua média de vida é de 12 dias; se ocorrer em julho ou outubro/novembro, pode-se esperar uma vida média de 8 dias.

Figura 42.21 – Fotografia Satélite de um Furacão



Um ciclone tropical tem dois movimentos: a circulação dos ventos em torno do centro (no sentido anti-horário no Hemisfério Norte e no sentido horário no Hemisfério Sul) e o deslocamento do sistema. O movimento inicial do ciclone tropical é na direção **W**, impulsionado pelos ventos alísios, que sopram na região onde se formou. Depois, se recurvam em direção ao pólo (para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul), ao longo de uma trajetória mais ou menos parabólica. A velocidade do centro de um ciclone em sua trajetória depende de seu estágio. Normalmente, no início é de 10 a 15 nós, antes de descrever sua curva. Depois disso, a velocidade aumenta para 20, 25 nós, ou mais. Nem todas as trajetórias das tempestades tropicais se curvam.

O sistema pode ser dividido em dois semicírculos. No **semicírculo perigoso** à navegação, a velocidade do vento se soma com a velocidade do movimento do sistema. Este é o **semicírculo direito** no Hemisfério Norte e o **semicírculo esquerdo** no Hemisfério Sul. No **semicírculo de manobra (navegável)**, a velocidade do vento se opõe à velocidade do movimento do sistema. Este é o **semicírculo esquerdo** no Hemisfério Norte e o semicírculo direito no Hemisfério Sul.

42.6 SINAIS PRECURSORES DOS CICLONES TROPICAIS. APROXIMAÇÃO DA TORMENTA

Ao comandante de um navio sujeito a atravessar regiões onde ocorrem tempestades tropicais não basta somente o conhecimento das épocas e das regiões mais perigosas. É indispensável, também, o entendimento das causas da formação de tempestades de características ciclônicas e, o que é mais importante, o que fazer, dentro da boa técnica marinheira, para evitar ou minimizar as consequências desse tipo violento de mau tempo.

Assim sendo, para melhor compreensão de todos os componentes que formam essas tempestades, é bom que o navegante saiba que uma tempestade tropical se origina em uma baixa pressão e que, no Hemisfério Norte, a circulação em torno de uma baixa pressão é no sentido contrário aos ponteiros do relógio; no Hemisfério Sul esta circulação se faz no sentido dos ponteiros do relógio.

Entretanto, nem todas as depressões na região tropical e nos meses típicos evoluirão para uma tempestade tropical.

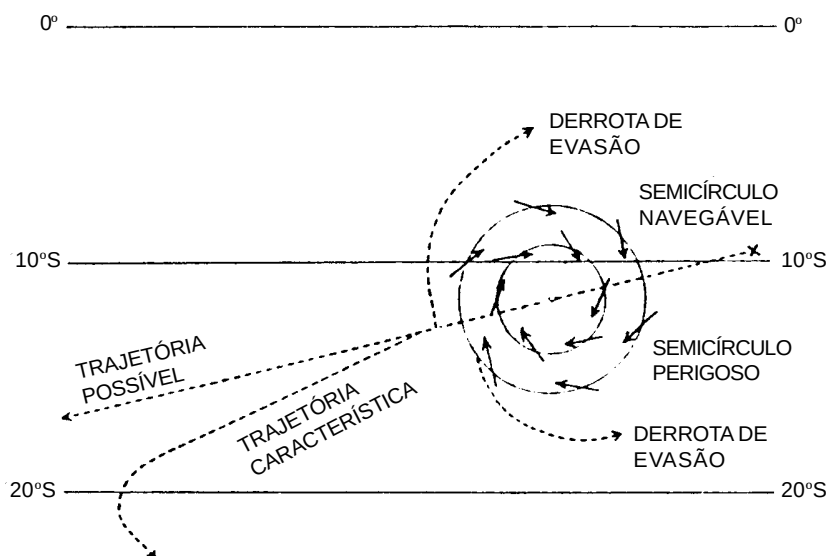
O primeiro cuidado a ser tomado pelo navegante em zonas sujeitas a esse tipo de fenômeno é a atenção com o barômetro. O recebimento e a leitura cuidadosa dos boletins de mau tempo é fundamental, já que uma baixa até atingir o estágio final de tempestade percorre a seguinte escala:

FENÔMENO	VENTOS (ESCALA BEAUFORT)
Depressão	Ventos variáveis
Depressão tropical	Força 7 ou menos (vel $\leq$ 33 nós)
Tempestade tropical	Força 8 ou 9 ($34 < \text{vel} < 47$ nós)
Tempestade tropical severa	Forças 10 e 11 ($48 < \text{vel} < 63$ nós)
Ciclone tropical/tufão/furacão	Força 12 ou mais (vel > 64 nós)

No Hemisfério Norte, as tempestades se deslocam inicialmente no rumo de 275° a 350°, embora o maior número ocorra numa faixa de 30° em torno do rumo W. Quando próximo da Latitude de 25° N, seguem uma trajetória em curva para a direita, afastando-se do Equador e, ao alcançar o paralelo de 30° N, rumam para NE.

No Hemisfério Sul, após um deslocamento inicial na direção geral W, o ciclone tropical recurva para a esquerda, afastando-se do Equador e rumando para SE, conforme mostrado na figura 42.22.

Entretanto, é necessário recordar que estas são trajetórias típicas, sendo possível que os ciclones apresentem vários outros padrões de movimento. Além disso, nem todas as trajetórias das tempestades tropicais recurvam. Muitas se dissipam ao alcançar o continente, ainda na região dos trópicos. Um pequeno número se desvanece sobre o oceano tropical.

Figura 42.22 – Trajetórias Típicas de Ciclones Tropicais no Hemisfério Sul

O navegante deverá, portanto, em áreas sujeitas a ciclones tropicais:

(a) Efetuar a leitura correta e horária do barômetro. Para isso, é indispensável o conhecimento da média barométrica em relação à época, ao local e à variação diurna da pressão. Caso a leitura barométrica indique o valor de 3,0 mb (ou mais) abaixo daquela normal para a região e época do ano, deve-se ficar atento, pois pode significar início de perigo. Se o barômetro continuar a cair e indicar 5,0 mb (ou mais) abaixo do normal, é hora de considerar a possibilidade de se estar em uma área sujeita às consequências de uma tempestade;

(b) verificar a velocidade e direção do vento, já que uma apreciável variação na direção e intensidade do vento é sinal de perigo;

(c) ter atenção especial com o estado do mar e o surgimento de grandes marulhos (vagalhões longos e baixos). A direção desses marulhos pode indicar aproximadamente o centro do ciclone e, normalmente, esse aviso é anterior à queda do barômetro; e

(d) observar a cobertura do céu. Céu coberto com nuvens do tipo cirrus (rabo de galo), seguidos por altostratus ou cumulus tocados pelo vento, é indício de mau tempo (o vórtice das nuvens indica a direção da tormenta).

Estes indícios não significam, obrigatoriamente, a presença de um ciclone tropical, mas este, quando ocorre, vem sempre acompanhado destes sinais.

A primeira indicação de um ciclone tropical é a presença de ondas longas. As ondas longas são aquelas em que as cristas passam na razão de quatro por minuto. Essa ondulação pode ser constatada vários dias antes da chegada da tormenta. Em águas profundas, a onda provém da direção geral da origem da tormenta, isto é, da posição do **centro**, quando a vaga foi gerada.

Quando o centro está entre 500 a 1.000 milhas de distância, o barômetro sobe, normalmente, um pouco e o céu permanece relativamente claro.

Quando o ciclone se aproxima, surge uma seqüência de nuvens parecida com a que ocorre à aproximação de uma frente quente nas médias Latitudes. A cerca de 300 a 600

milhas, surgem cirrus fibrosos muito brancos (rabos de galo). Normalmente, esses cirrus parecem convergir na direção de onde vem a tormenta. Essa convergência é mais aparente nas horas do nascer e pôr-do-Sol.

Pouco depois do aparecimento desses cirrus, mas às vezes antes, o barômetro inicia uma longa e vigorosa queda. A princípio, a queda é tão gradual que apenas parece alterar a variação normal diária nos trópicos (duas máximas e duas mínimas) da maré barométrica. Quando a razão de queda aumenta e ocorre uma baixa mais ou menos contínua, os cirrus tornam-se mais confusos e entrelaçados e, gradualmente, cedem espaço a um véu contínuo de cirrostratus. Abaixo desse véu formam-se altostratus e, depois, estratocumulus. Essas nuvens, ao se condensarem, acarretam instabilidade do tempo.

Uma chuva fina começa a cair. À proporção que a queda do barômetro se torna mais rápida, o vento aumenta em rajadas e a sua intensidade sobe para 22 a 40 nós (forças 6 a 8 na Escala Beaufort). No horizonte surge uma escura muralha de pesados cumulonimbus (Cb), denominada **barra da tormenta**.

Quando os cirrus aparecem, seus pontos de convergência proporcionam uma boa indicação da direção do **centro**. Se a tormenta for passar afastada em um bordo do observador, o ponto de convergência rondará vagarosamente na direção do movimento da tormenta. Se o **centro** for passar perto do observador, o ponto de convergência permanecerá estacionário, como em marcação constante. Quando a **barra** torna-se visível, parecerá, durante várias horas, estacionada no horizonte. A parte mais escura dessas nuvens indicará a direção do **centro**. Se a tormenta se desloca para passar em um bordo, a **barra** parecerá derivar, vagarosamente, ao longo do horizonte. Se a posição da **barra** permanece fixa, a tormenta dirige-se diretamente para o navio.

Quando a **barra** se aproxima, o barômetro cai mais rápido e o vento aumenta. O mar, que gradualmente foi se encrespando, torna-se tempestuoso. Chuvas fortes começam a cair. O dia fica sombrio, as pancadas de água se tornam contínuas e o barômetro cai precipitadamente, ao mesmo tempo em que o vento aumenta de intensidade. Nessa situação, o centro poderá estar entre 100 e 200 milhas de distância.

Quando o **centro** se aproxima, a chuva cai torrencialmente e a fúria do vento é indescritível; o mar fica montanhoso; os topos das enormes vagas explodem e se misturam à chuva, enchendo todo o ar de borrifos; objetos à curta distância tornam-se invisíveis. Até mesmo os maiores navios terão imensas dificuldades de manobrar e podem sofrer pesadas avarias. Navios mais fracos não sobreviverão.

42.7 MANOBRA FRENTE A UM FURACÃO OU TEMPESTADE TROPICAL

a. FORA DA ÁREA DA TORMENTA

Havendo possibilidade, a melhor manobra é evitar a área da tormenta. Para isso, é fundamental determinar a localização do ciclone tropical e o seu avanço em relação ao navio. Os boletins meteorológicos constituem a ferramenta mais importante para evitar um ciclone tropical. A transmissão destes boletins, que cobre todas as áreas tropicais, proporciona informações sobre a localização atual do ciclone tropical, ventos máximos, estado do mar e condições e tendências futuras. Contudo, eles não são infalíveis

e podem conter erros que induzam o navegante a manobrar equivocadamente e aumentar o perigo para o navio. Além disso, normalmente não informam a situação em tempo real, o que pode acarretar problemas ao navegante se forem usados isoladamente.

A melhor maneira para a determinação da direção do centro de um **ciclone tropical** é a observação do vento. De acordo com a Lei de Buys Ballot, no **Hemisfério Norte** um observador que olha de frente para o vento verdadeiro (vento real) terá o **centro** do ciclone à sua **direita**, um pouco para trás do seu través (cerca de 110°); no **Hemisfério Sul**

O marulho também dá uma indicação da direção do centro do ciclone tropical. Como vimos, um dos sinais precursores da aproximação de uma tempestade é a presença de vagalhões longos. O período normal do marulho em águas profundas do Oceano Atlântico é de cerca 7 a 8 segundos, ou seja, eles passam à razão de, aproximadamente, 8 por minuto. O marulho gerado por um furacão é cerca de duas vezes mais longo, com as cristas passando à razão de 4 por minuto (isto é, períodos de, aproximadamente, 15 segundos). Assim, a direção dos marulhos de período de cerca de 15 segundos indica a direção do centro do ciclone quando os mesmos se formaram. O marulho, vale repetir, pode ser observado vários dias antes da chegada da tempestade. Então, sua grande desvantagem é que a informação que presta não corresponde ao tempo real.

O vórtice das nuvens do tipo cirrus também indica o centro do furacão.

Determinada a posição do centro da tormenta, a melhor manobra consiste em se afastar dele o mais rapidamente possível, adotando um rumo que conduza o navio para suficiente distância lateral da derrota provável do ciclone, seguido das alterações de rumo determinadas pelo contínuo acompanhamento e plotagem do centro, de acordo com as informações fornecidas pelos boletins meteorológicos. Para isso, usar a **Rosa de Manobra**.

EXEMPLO:

O centro de um furacão está na marcação verdadeira 170° , na distância de 200 milhas do navio. Seu rumo estimado é 320° , velocidade de 19 nós. Sabendo-se que a velocidade máxima do navio é de 12 nós, determinar:

- (1) Rumo a governar, com a velocidade de 12 nós, para obter o máximo afastamento da tormenta;
- (2) distância ao centro da tempestade, no ponto de máxima aproximação (PMA); e
- (3) tempo a decorrer até o PMA.

SOLUÇÃO (ver a figura 42.24):

(1) Plote o ponto C na marcação 170° , distância de 200 milhas (escala 20:1) do centro da rosa, para localizar o olho do furacão em relação ao navio. Do centro da rosa, trace **RA**, vetor que representa o rumo e a velocidade com que se desloca a tormenta, na direção 320° , velocidade de 19 nós (escala 2:1).

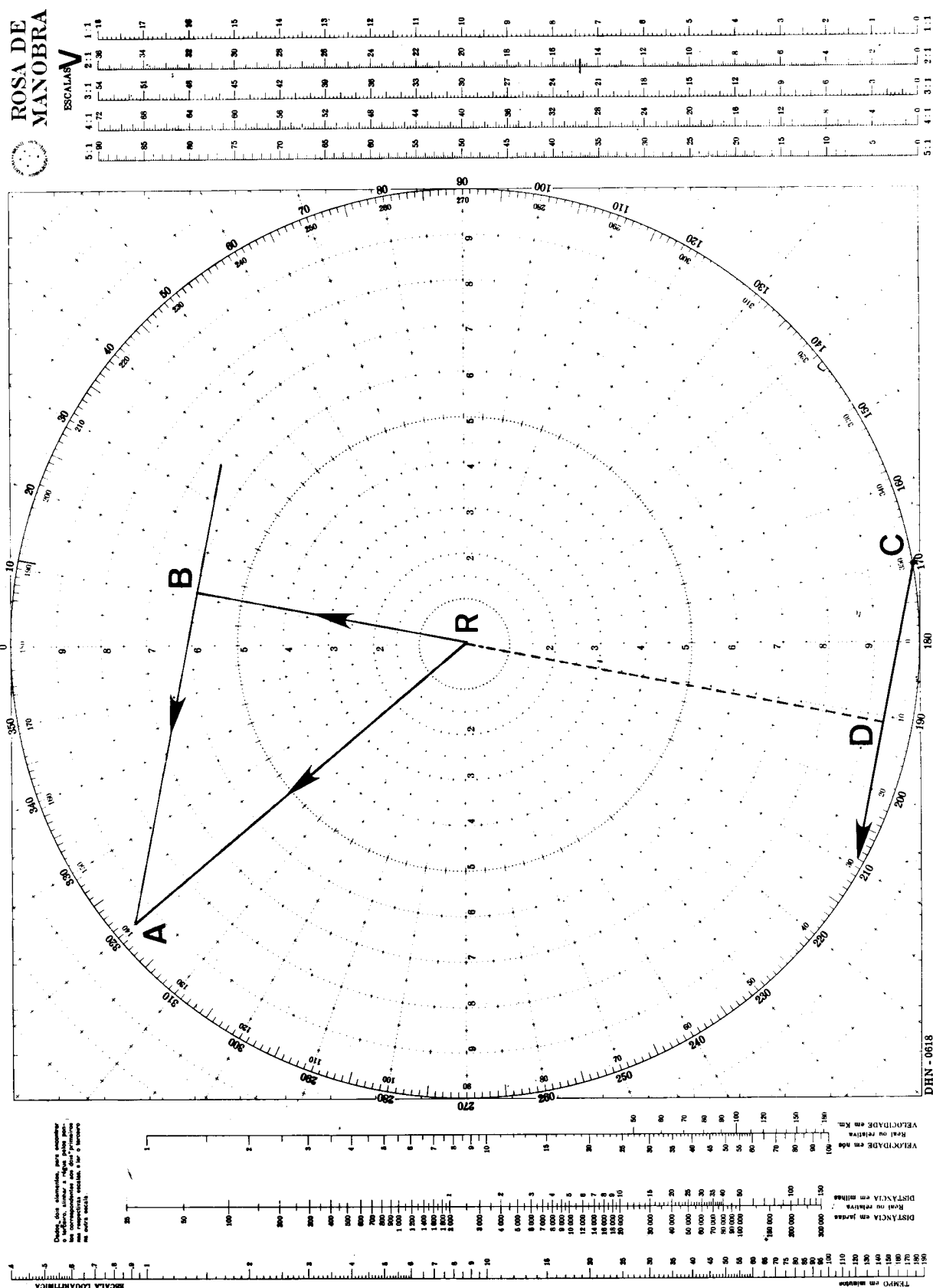
De **A**, trace uma tangente ao círculo de velocidade de 12 nós (escala 2:1), no lado oposto ao do centro da tormenta. Do centro da rosa, trace uma perpendicular a esta tangente, definindo o ponto **B**. A linha **RB** representa o vetor do movimento do navio para obter o máximo afastamento do furacão. Sua direção, 011° , é o rumo a governar.

(2) A linha **BA** representa o vetor do movimento relativo da tormenta, ou seja, a derrota do centro da tormenta em relação ao navio estará sobre uma paralela à direção **BA**, a partir de **C**, supondo que o navio e a tormenta mantêm o rumo e a velocidade. O PMA, então, estará em **D**, isto é, no pé da perpendicular baixada do centro da rosa.

A menor distância do navio ao centro da tormenta (no ponto de maior aproximação) será, assim, de 187 milhas (medida na escala de 20:1). O centro da tormenta estará pela popa do navio no PMA.

(3) A velocidade relativa da tormenta, ou seja, a velocidade da tormenta em relação ao navio, será igual ao comprimento do vetor **BA** (medido na escala 2:1). Seu valor é de 14,8 nós. A distância relativa **CD**, a ser percorrida pelo centro da tormenta até o PMA, é de 72 milhas (medida na escala 20:1). Então, o tempo a decorrer até o PMA da tormenta será de $72 \div 14,8 = 4,9$ horas @ 5 horas.

Figura 42.24 – Determinação do Rumo para Evitar o Centro da Tempestade



b. NA ÁREA DA TORMENTA

Se o navio estiver na área da tormenta, a ação a executar dependerá da sua posição em relação ao **centro** da tempestade e da direção do movimento do sistema. A

primeira preocupação é determinar se o navio está no **semicírculo perigoso** ou no **semicírculo navegável (ou de manobra)**.

Como vimos, a área circular da tormenta deve ser dividida em duas partes semicirculares. No **semicírculo perigoso** a velocidade do vento se soma com a velocidade de deslocamento do sistema; no **semicírculo de manobra (ou navegável)** a velocidade do vento se opõe à velocidade do movimento do sistema. Assim, no **Hemisfério Norte**, como a circulação em torno do centro é no sentido anti-horário e o sistema se desloca na direção geral **W** (ou seja, para a esquerda), o **semicírculo perigoso** é o **semicírculo da direita**; o **semicírculo esquerdo** é o **semicírculo navegável**. No **Hemisfério Sul**, onde a circulação em torno do centro do ciclone ocorre no sentido horário e o sistema também se desloca na direção geral **W**, o **semicírculo perigoso** é o **semicírculo da esquerda** e o **semicírculo navegável** é o **semicírculo da direita**.

Em virtude da soma da velocidade do vento com a velocidade de translação do furacão, os ventos são mais fortes e os mares mais tempestuosos no **semicírculo perigoso**. Cada semicírculo pode, ainda, ser dividido em dois quadrantes. O **quadrante dianteiro** do **semicírculo perigoso** é o mais difícil para a navegação, mas o **quadrante traseiro** deste semicírculo é quase tão severo. O mais favorável é o **quadrante traseiro (de ré)** do **semicírculo navegável**.

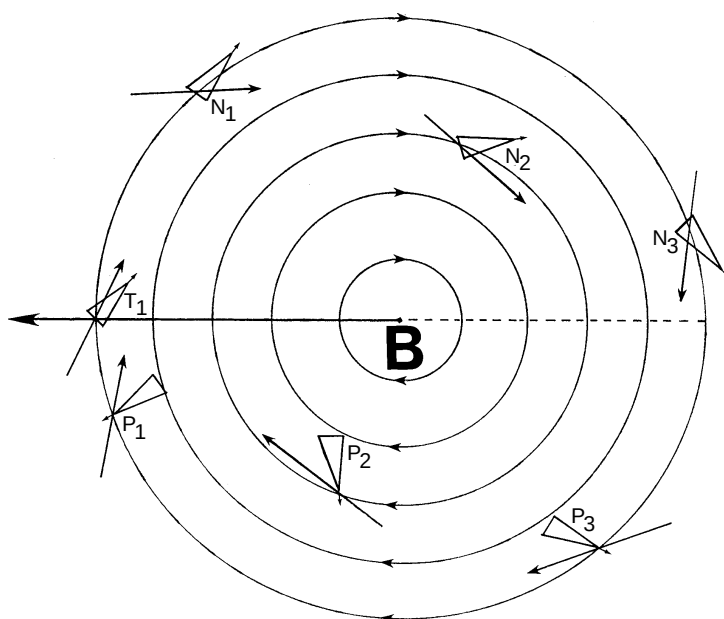
A plotagem das posições sucessivas do **centro** da tormenta indica a localização do navio em relação aos semicírculos. Entretanto, se essa plotagem for baseada nos boletins meteorológicos, o tempo decorrido entre a observação que originou o boletim e a sua recepção a bordo poderá fazer com que, nesse tempo, a direção do movimento da tormenta mude. O uso do radar pode indicar o semicírculo em que o navio se encontra, mas o vento é o guia de maior confiança.

No **Hemisfério Norte**, quando o vento **rondar para a direita** (isto é, no sentido horário) o navegante estará no **semicírculo perigoso**; quando o vento **rondar para a esquerda** (ou seja, no sentido anti-horário), o navio estará no **semicírculo navegável**. No **Hemisfério Sul** ocorre o oposto, isto é, se o vento ronda gradualmente para a **esquerda** (no sentido anti-horário), o navio estará no **semicírculo perigoso**; se o vento ronda para a **direita** (no sentido horário), o navio estará no **semicírculo navegável**. Estas regras só são válidas para o observador parado ou com baixa velocidade pois, no início do seu desenvolvimento, o ciclone tropical tem velocidade de translação relativamente pequena e, conseqüentemente, menor que a da embarcação. Assim, é preciso considerar o movimento próprio do navio. Se estiver em dúvida, parar o navio até conseguir determinar em que semicírculo o mesmo se encontra. Se o vento permanecer em rumo constante enquanto o navio estiver parado, mas aumentar de intensidade com o aumento da queda do barômetro, o navio estará sobre a rota da tormenta, ou muito próximo dela.

Além disso, é sempre prudente registrar continuamente a leitura do barômetro. O vento pode não rondar se o olho da tormenta estiver **pela proa** (pressão atmosférica diminuindo) ou **pela popa** (pressão atmosférica aumentando) do navio. Nessas condições, a indicação do barômetro é fundamental.

Como regra geral, no **Hemisfério Norte** um navio no **semicírculo perigoso** deve manobrar para colocar o vento na **bochecha de boreste** e proceder com a velocidade máxima possível; um navio no **semicírculo navegável** deve manobrar para colocar o vento na **alhetta de boreste**, procedendo com a máxima velocidade possível. Se estiver na **trajetória da tormenta**, o navio deve manobrar para ter o vento entrando pela **alhetta profunda de boreste** (marcação relativa 160°) e navegar com a máxima

Figura 42.26 – Manobras Evasivas na Área da Tormenta (Hemisfério Sul)



Alguns navegantes, baseados em experiências próprias, sustentam que, quando o vento atinge a velocidade de furacão e o mar se torna confuso, o navio agüenta melhor a tormenta com as máquinas paradas (“the do-nothing theory”). Em tal situação, o navio agüenta o tempo, em vez de enfrentá-lo. Esta é uma manobra ousada, que só deve ser tentada por grandes navios, em situações em que não haja alternativa.

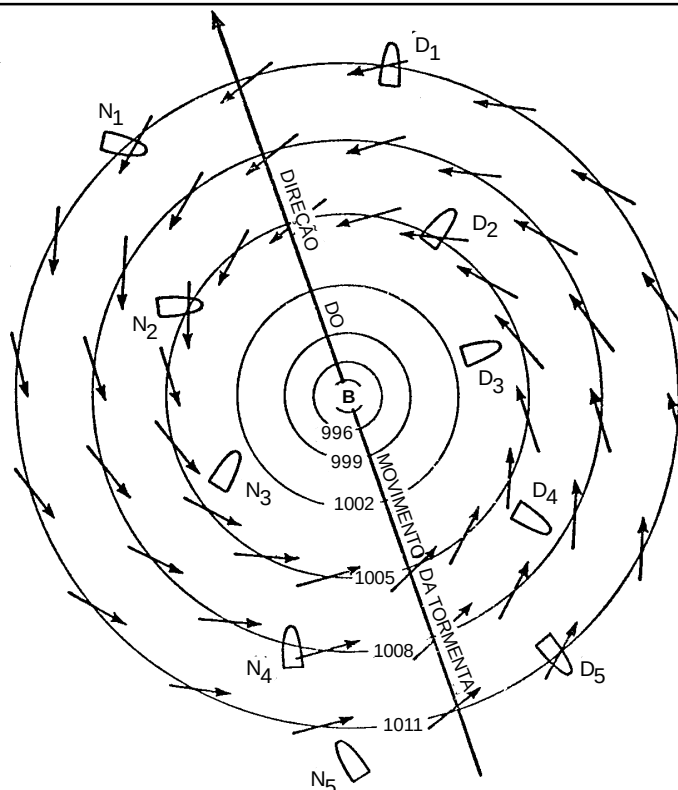
As ações a serem executadas estão resumidas na tabela abaixo:

TABELA RESUMO DAS SITUAÇÕES E MANOBRAS			
HEMISFÉRIO	LOCALIZAÇÃO	SITUAÇÃO	MANOBRA
HEMISFÉRIO NORTE	<i>Semicírculo Perigoso ou da direita</i>	O vento ronda para a <i>direita</i> (N-NE-E-SE-S-SW-W-NW).	Governar em rumo que permita receber o vento na bochecha de BE (45° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário, capear.
	<i>Semicírculo de Manobra ou da esquerda</i>	O vento ronda para a <i>esquerda</i> (N-NW-W-SW-S-SE-E-NE).	Governar em rumo que permita receber o vento na alheta de BE (135° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário correr com o tempo.
	Na rota da tormenta, <i>avante do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e aumenta de velocidade; o barômetro desce.	Governar em rumo que permita receber o vento duas quartas para a direita da alheta de BE (160° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Quando estiver razoavelmente dentro do <i>Semicírculo de Manobra</i> , usar a regra desse semicírculo
	Na rota da tormenta, <i>na retaguarda do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e diminui de velocidade; o barômetro sobe.	Evitar o <i>centro</i> , governando no melhor rumo possível. Não se esquecer da tendência de a tormenta encurvar-se para a direita, para o N e para E.
HEMISFÉRIO SUL	<i>Semicírculo Perigoso ou da esquerda</i>	O vento ronda para a <i>esquerda</i> (N-NW-W-SW-S-SE-E-NE).	Governar em rumo que permita receber o vento na bochecha de BB (315° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário, capear.
	<i>Semicírculo de Manobra ou da direita</i>	O vento ronda para a <i>direita</i> (N-NE-E-SE-S-SW-W-NW).	Governar em rumo que permita receber o vento na alheta de BB (225° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Se necessário, correr com o tempo.
	Na rota da tormenta, <i>avante do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e aumenta de velocidade; o barômetro desce.	Governar no rumo que permita receber o vento duas quartas para a esquerda da alheta de BB (200° relativos) e navegar na maior velocidade possível. Quando estiver razoavelmente dentro do <i>Semicírculo de Manobra</i> , usar a regra desse semicírculo.
	Na rota da tormenta, <i>na retaguarda do centro</i>	O vento permanece constante com o navio parado e diminui de velocidade; o barômetro sobe.	Evitar o <i>centro</i> , governando no melhor rumo possível. Não esquecer da tendência da tormenta encurvar-se para a esquerda, para o S e para E.

Os conceitos apresentados também valem para manobra frente a uma depressão ou ciclone extratropical profundo.

Para uma embarcação à vela, na tentativa de evitar o centro da tormenta valem, na medida do possível, as regras acima prescritas para navios com propulsão a motor. Entretanto, se tornar-se necessário capear, o vento deve ser fator de maior preocupação que o mar. Uma boa regra geral é sempre capear pelo bordo que permita a rondada do vento para ré. No Hemisfério Norte este bordo é boreste no semicírculo perigoso e bombordo no semicírculo navegável. No Hemisfério Sul os bordos são invertidos. A figura 42.27 ilustra as regras para as embarcações à vela no Hemisfério Norte, sendo necessário capear. Note que, seguindo as regras, o vento ronda para ré tanto no semicírculo perigoso como no semicírculo navegável.

Figura 42.27 – Manobra para Embarcação à Vela no Hemisfério Norte



A FIGURA ILUSTRA AS REGRAS PARA EMBARCAÇÕES À VELA CAPEAREM, NO HEMISFÉRIO NORTE. NOTAR QUE O VENTO RONDA PARA RÉ PARA AMBAS AS EMBARCAÇÕES.

Se o alarme de furacão ou tufão for recebido com o navio no porto, a decisão de suspender ou permanecer no local depende do tipo de navio, das condições de abrigo e demais características do fundeadouro ou porto, da resistência da amarração, do espaço de manobra disponível, da proximidade da tormenta, do seu rumo provável e da velocidade de aproximação. A decisão de suspender deve ser tomada com a devida antecedência, de modo que o navio possa se afastar suficientemente da costa e, assim, já dispor de bastante espaço de manobra para sotavento quando alcançado pela tempestade. Não é recomendável suspender quando a tormenta chega, porque, ao deixar o abrigo do porto, o navio poderá encontrar um mar confuso e montanhoso, resultado do efeito combinado de águas rasas e da reverberação da costa sobre as ondas formadas pela tempestade.

Navios amarrados à bóia têm enfrentado com sucesso tufões ou furacões, manobrando com máquinas de modo a aliviar o esforço sobre o cabo de amarração à bóia e sobre o equipamento de fundeio desta. O mesmo se pode afirmar para navios fundeados em baías amplas e fundeadouros abertos. Nessa situação, se existir bastante espaço para sotavento e não houver risco de mover-se na direção de perigos ou de águas muito profundas, o navio poderá permanecer fundeado, mesmo se estiver garrando vagarosamente.

Os registros mostram que navios fundeados, com amplo espaço para manobra, enfrentaram tormentas com êxito, mesmo garrando vagarosamente, umas poucas milhas por dia.

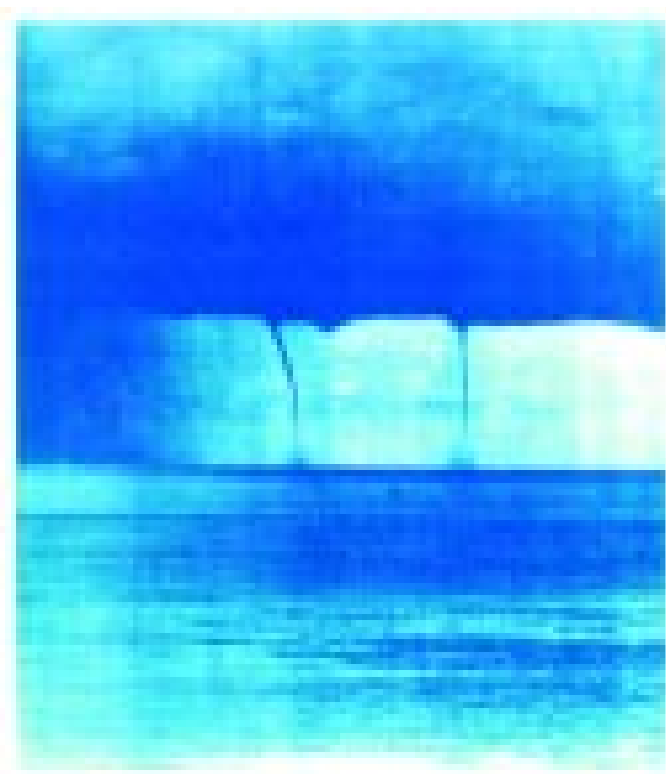
42.8 OUTROS FENÔMENOS METEOROLÓGICOS PERIGOSOS À NAVEGAÇÃO

Além das baixas extratropicais e das tempestades de Latitudes mais altas, já citadas neste mesmo capítulo, outros fenômenos atmosféricos, meteorológicos e magnéticos podem causar perigos à navegação ou afetar as radiocomunicações.

Relâmpagos e trovões podem afetar as comunicações e os equipamentos de radionavegação, como vimos em capítulos anteriores. O fenômeno de **aurora** (boreal ou astral) e o **fogo-de-santelmo** também já foram estudados, assim como os efeitos do gelo no mar, no capítulo 41. Restam ser mencionados os **tornados** e **trombas marinhas**.

Uma **tromba marinha** (“waterspout”), ou **tromba-d’água**, é um fenômeno meteorológico que se forma sobre o oceano, ou sobre águas interiores, e que consiste de uma pequena tempestade constituída por uma coluna de água agitada por turbilhões de vento, que gira rapidamente em volta de si mesma (figura 42.28). Sua principal característica é uma nuvem sob forma de funil; quando completamente desenvolvida, esta nuvem estende-se da superfície da água até a base de um vigoroso cumulunimbus, como mostra a figura. A água em uma **tromba marinha** está, em sua maioria, confinada na porção inferior e pode ser borrifo salgado proveniente da superfície do mar, ou água doce resultante da condensação devida à baixa pressão no vórtice do fenômeno. O movimento giratório nas **trombas marinhas** pode ser no sentido horário ou anti-horário, dependendo de sua maneira de formação. O fenômeno é mais freqüente nas regiões tropicais, mas pode, também, ser encontrado em Latitudes mais altas.

Figura 42.28 – Tromba-d’Água (Tornado no Mar)



Os **tornados** são fenômenos semelhantes, formados sobre terra, em áreas de intensa tormenta, mas que podem-se mover para o mar, tornando-se parecidos com as **trombas marinhas**. Estas, entretanto, são mais comuns sobre os oceanos, podendo estar associadas com tempo bom ou com mau tempo. As trombas marinhas duram no máximo 1 hora, e sua força é variável. Algumas têm força suficiente para destruir embarcações menores ou avariar navios maiores.

O diâmetro de uma tromba marinha pode variar de alguns metros até várias centenas de metros. Sua altura pode ser pequena ou atingir mais de mil metros. As **trombas marinhas** e os **tornados** podem depositar uma grande quantidade de água sobre um navio ou embarcação. Além disso, os ventos giratórios também podem ser perigosos. Então, tais fenômenos (cujas áreas de atuação é relativamente pequena) devem ser evitados.

43

NAVEGAÇÃO EM BALSAS SALVA-VIDAS

43.1 INTRODUÇÃO

Os capítulos anteriores trataram da navegação praticada a bordo de navios bem equipados. A navegação em balsas salva-vidas é muito diferente; as facilidades disponíveis para os navegantes são mínimas e mesmo instrumentos básicos, como o sextante, podem estar faltando. Ademais, outra diferença da navegação em balsas salva-vidas é que, em geral, é impossível navegar qualquer distância considerável para barlavento, mesmo em uma embarcação de salvamento a motor; assim, o ponto de destino tem que ser cuidadosamente escolhido.

Enquanto navios singrarem os oceanos haverá naufrágios, e o navegante prudente deve planejar com antecedência para a eventualidade de seu navio ser um dos que se perdem no mar. Não se pode esperar que haja tempo suficiente para organizar o equipamento após a ordem de **“abandonar o navio”**. Além de estar completamente familiarizado com o uso dos equipamentos disponíveis, o navegante deve ser capaz de improvisar, para o caso de estarem faltando sextante, cronômetro, Almanaque Náutico, tábuas de navegação e outros itens básicos.

No que concerne à navegação, a primeira consideração após o abandono do navio é determinar se se deve permanecer o mais próximo possível do ponto do naufrágio ou tentar alcançar terra ou uma rota marítima de tráfego intenso. Esta decisão geralmente depende de que um sinal de socorro tenha, ou não, sido transmitido e de quando se pode esperar a chegada de auxílio.

Se a chegada de ajuda não puder ser prevista, o navegante deve estar ciente de que longas travessias em embarcações de salvamento precárias podem ser feitas, como provado

pelo Comandante Bligh, do HMS “Bounty”, que navegou 3.000 milhas quando abandonado em alto-mar, em uma pequena embarcação. O navegante deve, também, considerar que o **moral** é um fator da mais alta importância para que uma longa viagem seja completada com sucesso.

43.2 PREPARAÇÃO PARA UMA EMERGÊNCIA

A melhor maneira de enfrentar uma emergência é estar sempre pronto para ela. Do ponto de vista da navegação, o modo correto de preparar-se para uma emergência de abandono de navio é organizar um “kit” de navegação para cada balsa salva-vidas ou embarcação de salvamento, colocá-los em embalagens à prova d’água e mantê-los prontos para embarque nas balsas e baleeiras, ou lanchas. Os seguintes itens são desejáveis, mesmo que nem todos possam ser incluídos em cada “kit” de navegação:

- **Cartas Náuticas:** as melhores cartas para uso em balsas salva-vidas são cartas gerais (de pequena escala, cobrindo grandes áreas) e cartas-piloto. Assim, com umas poucas cartas tem-se uma grande região representada.

- **Sextante:** além dos sextantes náuticos convencionais, sextantes de plástico, mais simples e mais baratos, porém capazes de proporcionar uma precisão aceitável para uso em embarcações de salvamento, também podem ser utilizados.

- **Almanaque Náutico e Identificador de Astros:** se possível, o Almanaque Náutico do ano e um “Star Finder” devem estar disponíveis. Na falta do identificador, as cartas celestes do Almanaque Náutico podem ser usadas. Um **Almanaque Permanente** (“Long Term Almanac”) é incluído no Apêndice a este Manual, fornecendo dados de efemérides do Sol e de estrelas selecionadas, válidos para um período de muitos anos e bastante precisos. É importante ter cópias deste almanaque e das tábuas de refração e depressão do horizonte do Almanaque Náutico (também reproduzidas neste Manual) nos “kits” de navegação das embarcações de salvamento.

- **Tábuas:** a publicação **DN4-2 Tábuas para Navegação Astronômica** é ideal para uso em emergência, pois congrega em um só volume, de pequeno tamanho, todas as tábuas necessárias para cálculo das **retas de altura** e do **azimute do Sol** ou outro astro, para qualquer combinação de Latitude, Declinação e Ângulo Horário.

- **Calculadora Eletrônica de Navegação:** pelo menos uma das embarcações de salvamento deverá incluir no “kit” de emergência uma **calculadora eletrônica de navegação** programada para cálculo de retas de altura, azimutes e outros problemas de navegação ortodrômica e loxodrômica. Não esquecer de incluir baterias sobressalentes.

- **Rádio Portátil:** um pequeno rádio a pilha pode ser de grande valor, principalmente para recepção de **sinais horários**, em especial se operar em faixas de ondas curtas. O rádio deve ser usado com cuidado, para economizar as baterias. Se possível, devem ser levadas para a embarcação de salvamento baterias sobressalentes.

- **EPIRB:** embora não esteja diretamente relacionado com a navegação praticada a bordo das balsas salva-vidas, é oportuno mencionar que cada embarcação deverá estar equipada com um **EPIRB** (“Emergency Position Indicating Radio Beacon”), unidade que transmite automaticamente um sinal nas frequências de emergência. O EPIRB pode servir não apenas para alertar as autoridades de busca e salvamento sobre a ocorrência de

um naufrágio, mas, também, subsequente, como um auxílio à busca, para navios e aeronaves engajados no resgate de sobreviventes.

– **Transmissor de Emergência e VHF Portátil:** um transmissor de emergência (operando nas frequências internacionais de socorro) e um transceptor VHF portátil são fundamentais. O VHF portátil, operando no canal 16, será essencial para alertar e estabelecer contato com navios (ou aeronaves de busca) avistados.

– **Refletor radar:** os refletores radar dobráveis, feitos de alumínio ou de treliça metálica, são os mais convenientes. Este refletor proporciona um forte eco de retorno, facilitando a detecção radar das embarcações de salvamento pelos navios e aeronaves de busca, principalmente se estiver em uma posição elevada (para aumentar o horizonte radar). Se não estiver disponível, um refletor radar deve ser improvisado com material metálico, ou, até mesmo, com papel alumínio (cobrindo placas de madeira).

– **Agulha Magnética Portátil:** uma **agulha magnética portátil**, ou uma **agulha magnética de mão** (“hand bearing compass”), é indispensável a bordo das embarcações de salvamento, para determinar o rumo em que se desloca a balsa salva-vidas e para tomar marcações quando se aproximar de terra.

– **GPS Portátil:** pelo menos uma das embarcações de salvamento deverá dispor de um equipamento GPS portátil, que deve ser operado com prudência (no máximo cinco vezes por dia), a fim de prolongar a vida das baterias.

– **Outros Itens:** material de desenho e plotagem (lápis, borracha, plotador ou régua-paralela, régua decimal e compasso); sacos plásticos grossos para armazenar os instrumentos e tábuas, mantendo-os secos; lanternas (com pilhas sobressalentes); rosas de manobra e papel para cálculo e anotações.

43.3 INFORMAÇÕES. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO

Devem ser anotadas todas as informações divulgadas por ocasião da faina de abandono do navio, previstas nas normas para abandono, tais como: coordenadas geográficas (j e l) da posição do naufrágio, profundidade local, rumo magnético, distância e identificação da terra mais próxima, direção e velocidade do vento, rumo e intensidade da corrente, etc. Além disso, é importante que se conheçam outras informações relevantes para a navegação na área em que se opera, como, por exemplo:

– **Posições:** o conhecimento da Latitude e Longitude aproximadas de portos e ilhas da região é muito útil, principalmente se não se dispuser de cartas náuticas na embarcação de salvamento. Um conhecimento geral das cartas da área em que se opera é, também, importante.

– **Correntes:** um conhecimento geral do regime das correntes oceânicas na área em que se navega é importante, principalmente se não se dispuser das cartas-piloto na embarcação de salvamento.

– **Meteorologia:** um conhecimento geral das condições meteorológicas da região é muito útil, especialmente no que se refere aos ventos predominantes nas diversas estações do ano, que poderão, em conjunto com as correntes, definir a direção na qual derivarão as balsas salva-vidas. Além disso, é útil conhecer as evoluções típicas do tempo na área, assim como os sinais e a previsão das trajetórias das frentes e tempestades.

Ademais, é necessário conhecer os procedimentos para sobrevivência no mar e o conteúdo dos pacotes de sobrevivência existentes nas balsas salva-vidas (que incluem água, rações, anzóis, balde, “kit” de primeiros socorros, espelhos para sinalização, linha para pesca, âncora de mar ou drogue, pirotécnicos, etc.).

A primeira consideração após abandonar o navio é, como vimos, decidir entre permanecer tão próximo quanto possível do ponto do naufrágio ou tentar alcançar terra ou uma rota marítima de tráfego intenso. Tendo tomado esta decisão crucial, deve ser definido um plano de ação e estabelecida claramente uma liderança a bordo da balsa salva-vidas. Se houver várias embarcações na água, é fundamental mantê-las juntas umas das outras.

As primeiras horas a bordo das balsas salva-vidas podem ser as mais importantes. É essencial manter o **moral** elevado. O estabelecimento de uma rotina regular de trabalho e a atribuição de tarefas a cada indivíduo auxiliam a preservar o **moral**.

Se sinais de socorro adequados foram transmitidos antes de abandonar o navio, pode-se esperar que navios e aeronaves de salvamento conduzam uma busca no local; neste caso, pode ser melhor permanecer no local do naufrágio.

Se for decidido tentar alcançar terra ou uma rota de tráfego marítimo intenso (normalmente representadas nas cartas-piloto), antes de estabelecer o rumo a seguir as influências de vento e corrente devem ser devidamente avaliadas, para estimar qual o melhor destino e a correspondente duração do trajeto, o que permitirá definir o racionamento da água e dos alimentos disponíveis.

Diversos fatores influenciam a decisão sobre que rumo tomar. Se uma carta-piloto estiver disponível, estude-a minuciosamente para verificar a corrente oceânica e o vento predominantes. Se a embarcação de salvamento dispuser de motor ou vela, considere sua autonomia/raio de ação e a velocidade média. Pode ser melhor rumar para terra mais distante, com vento e correntes favoráveis, do que para um local mais próximo, porém difícil de alcançar.

Verifique a localização das rotas de tráfego marítimo da área e, se possível, rume para a mais próxima. Ao escolher o rumo lembre-se que a distância possível de ser navegada para barlavento, mesmo com uma embarcação a motor, é muito limitada. O Comandante Bligh sabia que havia ilhas a cerca de 200 milhas para barlavento do ponto onde iniciou sua epopéia, mas tinha certeza que não poderia alcançá-las; sua decisão de rumar para sotavento tornou a sobrevivência possível, após uma jornada de 3.000 milhas.

Considere, também, o tamanho e a altura da terra para a qual se ruma. Lembre-se que a distância ao horizonte é muito restrita para um observador em uma balsa salva-vidas (a distância ao horizonte, em milhas, é aproximadamente igual a duas vezes a raiz quadrada da altura do olho do observador, em metros). Leve em conta, ainda, a precisão com que podem ser determinadas as posições da embarcação de salvamento. Uma ilha pequena e baixa, embora mais próxima, pode ser muito difícil de encontrar, com os métodos aproximados de navegação praticados em uma balsa; assim, pode ser mais vantajoso rumar para uma ilha ou costa mais distante, porém mais alta e conspícua.

Se não for possível manter com precisão a hora a bordo da embarcação de salvamento, será impraticável determinar a Longitude com exatidão (cada 4 segundos de erro na hora resultam em 1' de erro na Longitude). Neste caso, pode não ser aconselhável rumar diretamente para o destino, mas, conhecendo-se a Latitude deste ponto, buscar atingir o seu paralelo e, então, navegar para **E** ou para **W** (mantendo, portanto, a Latitude) até alcançá-lo. Este método, denominado de “**navegação por paralelo**”, foi usado com êxito por muitos séculos, antes da invenção do cronômetro.

43.4 NAVEGAÇÃO ESTIMADA

A **navegação estimada** é de importância fundamental em uma balsa salva-vidas. O ponto de partida (local do naufrágio ou do abandono do navio) deve ser determinado com a maior precisão possível e, a partir daí, deve ser mantido um registro rigoroso dos rumos, velocidades, correntes oceânicas estimadas e abatimento e caimento da embarcação. Estes elementos permitirão manter uma **plotagem estimada** ou, se isto se mostrar impossível na embarcação, calcular os movimentos matematicamente, através da **tábua do ponto** adiante apresentada.

Se as posições determinadas para a balsa salva-vidas, usando os métodos aproximados possíveis de serem empregados a bordo, não tiverem boa confiabilidade, é melhor não abandonar a **plotagem estimada** antes de avaliar a totalidade de informações disponíveis. O navegante deve utilizar toda sua experiência para ponderar cuidadosamente os dados que tem à mão e, assim, determinar a verdadeira posição da embarcação. Desta sua habilidade poderá depender a questão de a balsa alcançar ou não o seu destino.

– Direção

Os rumos devem ser determinados pela **agulha magnética portátil** ou **agulha magnética de mão** (“**hand bearing compass**”) levada para a balsa. A **declinação magnética** pode ser obtida da carta náutica ou carta-piloto. Se a embarcação de salvamento tiver propulsão e quisermos determinar o **desvio da agulha** no rumo escolhido, basta localizar um destroço do naufrágio flutuando, ou lançar na água um objeto que flutue sem sofrer muita influência do vento, e navegar, a partir deste objeto, na recíproca do rumo magnético escolhido, por cerca de meia milha (enquanto se possa, ainda, distinguir o objeto flutuante). Então, inverter a proa e governar na direção do objeto. Se não houver desvio, o rumo da agulha coincidirá com o rumo magnético escolhido (ou seja, será a recíproca do primeiro rumo em que se governou); se não coincidir, o rumo da agulha desejado estará a meio entre a recíproca do primeiro rumo e o rumo da agulha direto para o objeto.

Durante a viagem, o **desvio da agulha** deve ser determinado a intervalos regulares. Deve-se recordar que, na **passagem meridiana** do Sol, o seu azimute é exatamente 000° ou 180°. Estas são **direções verdadeiras**, que podem fornecer diretamente o **desvio da agulha**, desde que se considere o valor da **declinação magnética** no local. Se estiverem disponíveis Almanaque Náutico e tábuas para Navegação Astronômica, ou calculadora eletrônica de navegação, o **desvio da agulha** pode ser determinado pela observação do azimute do Sol, ou de qualquer outro astro, conforme explicado no Capítulo 31 (Volume II deste Manual).

Se não se dispuser de **agulha magnética**, pode-se determinar a direção pelo Sol no nascer e no ocaso. Se conhecermos a nossa Latitude, podemos determinar a direção do Norte pela observação do Sol no nascer e no ocaso. A figura 43.1 mostra o Azimute verdadeiro (marcação verdadeira) do Sol no nascer e sua marcação relativa no ocaso, para todos os meses do ano, nos Hemisférios Norte e Sul. No dia 26 de janeiro, por exemplo, na Latitude 50° S, o Azimute do Sol no nascer é 120° (ver a figura 43.1). Como o Sol está nascendo, sabemos que esse é o seu azimute verdadeiro contado a partir do **Norte**. Então, se olharmos para o Sol nascente, o **Norte** estará a 120° para a nossa **esquerda** (ou seja, por ocasião do nascer, o **Norte** estará 120° à esquerda do Sol). Para determinar o Norte no ocaso, a tabela nos fornece a marcação relativa do Sol. Como o Sol se põe a **Oeste**, o **Norte**

deverá estar à direita do Sol. Assim, no dia 26 de janeiro, se olharmos para o Sol no poente, o **Norte** estará 120° para a nossa **direita** (isto é, no ocaso o **Norte** estará 120° à direita do Sol).

Figura 43.1 – Azimute do Sol no Nascer e no Ocaso

DATA		AZIMUTE DO SOL NO NASCER E NO OCASO													
		Latitude													
		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
JANEIRO	1	113	113	113	114	115	116	117	118	121	124	127	133	141	
	6	112	113	113	113	114	115	116	118	120	123	127	132	140	
	11	112	112	112	113	113	114	115	117	119	122	125	130	138	
	16	111	111	111	112	112	113	114	116	118	120	124	129	136	
	21	110	110	110	111	111	112	113	115	117	119	122	127	133	
	26	109	109	109	109	110	111	112	113	115	117	120	124	130	
	1	107	107	108	108	108	109	110	111	113	115	117	121	126	
	6	106	106	106	106	107	107	108	109	111	113	115	118	123	
FEVEREIRO	11	104	104	105	105	105	106	107	108	109	110	112	116	120	
	16	103	103	103	103	103	104	105	106	107	108	110	112	116	
	21	101	101	101	101	101	102	102	103	104	105	107	109	112	
	26	99	99	99	99	100	100	100	101	102	103	104	106	108	
MARÇO	1	98	98	98	98	99	99	99	100	100	101	102	104	106	
	6	96	96	96	96	96	97	97	97	98	98	99	100	102	
	11	94	94	94	94	94	94	95	95	95	96	96	97	98	
	16	92	92	92	92	92	92	92	92	93	93	93	93	94	
	21	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
	26	88	88	88	88	88	88	88	88	87	87	87	87	86	
	1	86	86	86	86	85	85	85	85	84	84	83	82	81	
	6	84	84	84	84	83	83	83	83	82	82	81	80	79	
ABRIL	11	82	82	82	82	81	81	81	80	80	79	77	76	74	
	16	80	80	80	80	79	79	78	78	77	76	74	72	70	
	21	78	78	78	78	78	77	76	76	75	73	72	69	66	
	26	77	77	76	76	76	75	75	74	72	71	69	66	63	
MAIO	1	75	75	75	74	74	73	73	72	70	69	66	63	59	
	6	74	74	73	73	73	72	71	70	68	67	64	61	56	
	11	72	72	72	72	71	70	69	68	67	65	62	58	52	
	16	71	71	71	70	70	69	68	67	65	63	60	55	49	
	21	70	70	70	69	69	68	67	65	63	61	58	53	47	
	26	69	69	69	68	68	67	66	64	62	60	56	51	44	
	1	68	68	68	67	66	66	64	63	61	58	54	49	41	
	6	67	67	67	67	66	66	65	64	62	60	57	53	48	
JUNHO	11	67	67	67	66	65	64	63	62	59	56	53	47	39	
	16	67	67	67	66	65	64	63	62	59	56	53	47	39	
	21	67	67	67	66	65	64	63	62	59	56	53	47	39	
	26	67	67	67	66	65	64	63	62	59	56	53	47	39	
JULHO	1	67	67	67	66	66	65	64	62	60	57	53	48	40	
	6	67	67	67	66	66	65	64	62	60	57	53	48	40	
	11	68	68	68	67	66	65	64	63	61	58	54	49	41	
	16	69	68	68	68	67	66	65	64	62	59	55	50	43	
	21	69	69	69	69	68	67	66	65	63	60	57	52	45	
	26	70	70	70	70	69	68	67	66	64	62	59	54	48	
	1	72	72	72	71	71	70	69	68	66	64	61	57	51	
	6	73	73	73	73	72	71	71	69	68	66	63	60	55	
AGOSTO	11	75	75	74	74	74	73	72	71	70	68	66	63	58	
	16	76	76	76	76	75	75	74	73	72	70	68	65	61	
	21	78	78	77	77	77	76	76	75	74	72	71	68	65	
	26	79	79	79	79	79	78	78	77	76	75	73	71	68	
SETEMBRO	1	82	82	82	81	81	81	80	80	79	78	77	75	73	
	6	83	83	83	83	83	83	82	82	81	81	80	78	77	
	11	85	85	85	85	85	85	85	84	84	83	83	82	81	
	16	87	87	87	87	87	87	87	86	86	86	85	85	84	
	21	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	88	88	88	
	26	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	92	92	92	
	1	93	93	93	93	93	93	93	94	94	94	95	95	96	
	6	95	95	95	95	95	95	96	96	96	97	97	98	99	
OUTUBRO	11	97	97	97	97	97	98	98	99	99	100	101	102	104	
	16	99	99	99	99	99	100	100	101	101	102	104	105	108	
	21	101	101	101	101	101	102	102	103	104	105	107	109	112	
	26	102	102	103	103	103	104	104	105	106	108	109	112	115	
NOVEMBRO	1	104	104	105	105	105	106	107	108	109	110	113	116	120	
	6	106	106	106	107	107	108	109	110	111	113	115	119	123	
	11	107	107	108	108	108	109	110	111	113	115	117	121	126	
	16	109	109	109	109	110	111	112	113	115	117	120	124	130	
	21	110	110	110	111	111	112	113	114	116	118	120	124	133	
	26	111	111	111	112	112	113	114	116	118	120	124	128	135	
	1	112	112	112	113	113	114	115	117	119	122	125	130	138	
	6	112	112	113	113	114	115	116	118	120	123	126	132	140	
DEZEMBRO	11	113	113	113	114	115	116	117	118	121	124	127	133	141	
	16	113	113	113	114	115	116	117	118	121	124	127	133	141	
	21	113	113	113	114	115	116	117	118	121	124	127	133	141	
	26	113	113	113	114	115	116	117	118	121	124	127	133	141	
NOTA: NASCER @ AZIMUTE VERDADEIRO (A PARTIR DO NORTE)															
OCASO @ MARCAÇÃO (ÂNGULO) DO OESTE PARA O NORTE.															

NOTA: NASCER @ AZIMUTE VERDADEIRO (A PARTIR DO NORTE)
OCASO @ MARCAÇÃO (ÂNGULO) DO OESTE PARA O NORTE.

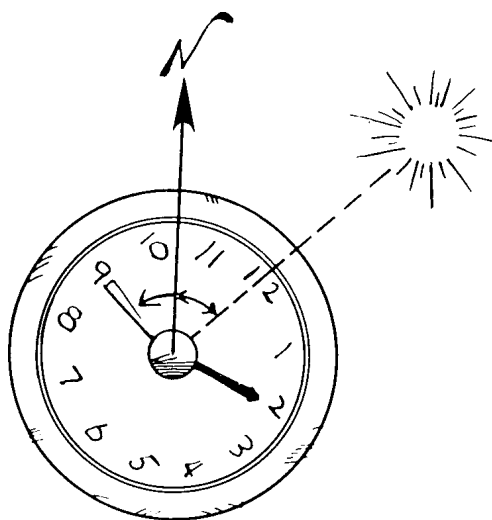
A tabela não inclui cada dia do ano nem cada grau de Latitude, podendo-se interpolar entre os valores dados, se for desejada precisão da ordem de 1° de azimuth. Contudo, para todos os fins práticos, tomando por base o dia e o grau de Latitude mais próximos tabelados, sem interpolar, será obtido um Azimute que permitirá que se conserve o rumo com a precisão necessária. Para se ter uma idéia, na Latitude 32° S, no dia 13 de abril, o Azimute

Figura 43.2 – Balsa Pneumática Auto-Inflável (Aberta)

Figura 43.3 – Determinação da Direção Usando um Relógio – Zona Temperada do Hemisfério Norte

Na zona temperada do Hemisfério Sul, a marca de **12 horas** no mostrador deve ser apontada para o Sol. A direção do **Norte** estará na bissetriz do ângulo entre **12 horas** (apontado para o Sol) e o **ponteiro da hora**, conforme mostrado na figura 43.4. As zonas temperadas estendem-se da Latitude 23,5° até 66,5°, em ambos os hemisférios. O método do relógio pode conduzir a erros na determinação do Norte, especialmente em Latitudes mais baixas (zona tropical).

Figura 43.4 – Determinação da Direção Usando um Relógio – Zona Temperada do Hemisfério Sul



No Hemisfério Norte, à noite, a embarcação pode ser mantida no rumo Norte, Sul, Leste ou Oeste, tomando como referência a **estrela polar (Polaris)**, cuja identificação no céu foi explicada em capítulos anteriores.

– Velocidade

Durante o deslocamento a velocidade deve ser determinada com a maior exatidão possível, para que a navegação estimada possa ser mantida com precisão. Um método prático para determinação da velocidade consiste em lançar um objeto flutuante na proa e anotar o tempo, em segundos, requerido para percorrer o comprimento da embarcação.

A velocidade, em nós, será igual a:

$$\text{vel (nós)} = 1,94 \times \frac{\text{comprimento (m)}}{\text{tempo (s)}}$$

ou, de maneira aproximada:

$$\text{vel (nós)} = 2 \times \frac{\text{comprimento (m)}}{\text{tempo (s)}}$$

Assim, por exemplo, se um objeto flutuante leva 4 segundos para percorrer, de proa a popa, uma embarcação de salvamento de 9 metros de comprimento, a velocidade da embarcação, em nós, será:

$$v = 2 \times \frac{9}{4} = 4,5 \text{ nós}$$

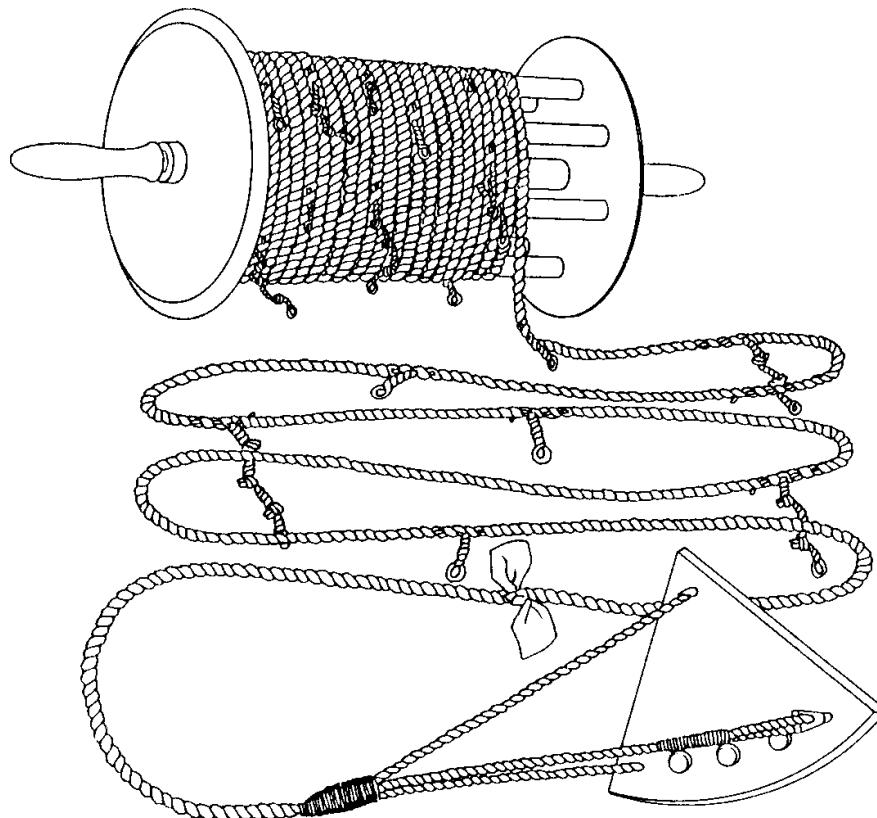
Como sabemos, por este modo determina-se a velocidade com relação à água (velocidade na superfície) e não a velocidade no fundo.

Entretanto, os objetos disponíveis para lançar ao mar podem ser escassos e, além disso, este método não é apropriado para uso em uma balsa salva-vidas, de forma arredondada, que deriva sem propulsão própria.

Então, pode-se improvisar um odômetro ou velocímetro usando um pequeno objeto flutuante (como uma talisca de madeira) e uma linha leve (como as usadas para a pesca). Um extremo da linha é atado ao objeto e o outro permanece a bordo, de modo que o objeto possa ser recuperado após a medição e usado novamente. A linha deve ser capaz de correr livremente durante a medição e deve ter **nós** a intervalos regulares, para permitir a determinação da velocidade. O objeto flutuante deve estar a alguma distância pela popa antes de se iniciar a medição. Portanto, o primeiro nó na linha deve ser dado a cerca de 10 metros do objeto flutuante.

Uma embarcação a 1 nó percorre 1 milha por hora, isto é, 1.852 metros em 3.600 segundos, ou, de maneira aproximada, 0,5 m/s ou 5 metros em 10 segundos. Assim, a linha do odômetro deve ter um **nó** a cada 5 metros (figura 43.5). Para determinação da velocidade, conforme o objeto se afasta mede-se o tempo, em segundos, entre a passagem de dois nós consecutivos pela mão do operador. Se o tempo for 10 segundos, a velocidade será 1 nó; se for 5 segundos, 2 nós, etc. Pode-se fazer facilmente uma tabela, ou curva, de velocidade em função do tempo. Tal como no caso anterior, a velocidade é determinada em relação à água (velocidade na superfície). Para obtenção de bons resultados, é essencial que a linha do odômetro corra livremente.

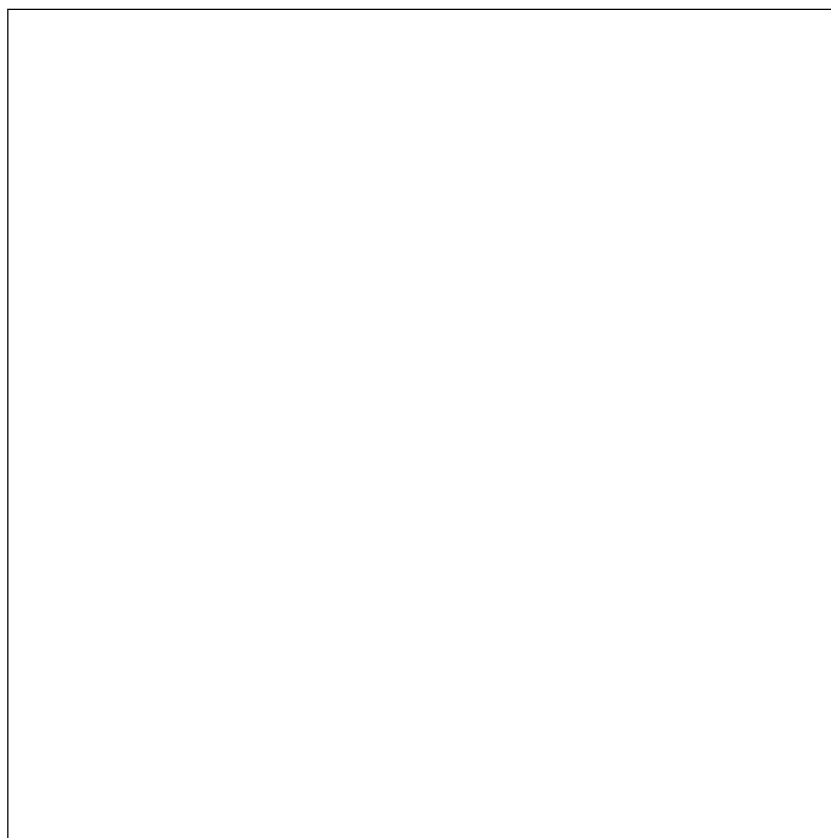
Figura 43.5 – Odômetro de Fortuna (“CHIP LOG”)



Mesmo sem um relógio, o método ainda pode ser usado. Pode-se contar mentalmente os segundos e meio segundos, intercalando-se a letra **e** entre os numerais (e 1 e 2 e 3 e 4, etc.), ou improvisar um contador de segundos, construindo um simples pêndulo, com um pequeno peso e uma linha leve. Se o comprimento do pêndulo, a partir do centro do peso até o extremo da linha for de 24,9 cm (9,8 polegadas), seu período (ida e volta) será de 1 segundo. A embarcação deve estar razoavelmente estável quando se usa esta técnica, pois o balanço e o caturro afetam a oscilação normal do pêndulo.

– Tábua do Ponto

A tábua abaixo é muito útil na solução de problemas de navegação estimada. As quatro primeiras colunas contêm os valores de rumos; a quinta coluna informa o valor da diferença de latitude (**Dj**) em minutos, por milha navegada no rumo; a sexta coluna informa o valor do apartamento (**ap**), ou milhas E–W, por milha de distância. Para determinar a **Dj** e o **ap** totais, basta multiplicar os valores fornecidos pela tábua, pela distância navegada.



j m	FATOR	j m	FATOR	j m	FATOR
0	1,00	30	1,15	60	2,00
5	1,00	35	1,22	65	2,37
10	1,02	40	1,30	70	2,92
15	1,04	45	1,41	75	3,86
20	1,06	50	1,56	80	5,76
25	1,10	55	1,74	85	11,47

EXEMPLO:

Uma embarcação de salvamento parte da posição Latitude 28° 37,4' S, Longitude 160° 12,6' E e navega no rumo 240° por 80 milhas. Determinar sua posição final.

SOLUÇÃO:

a) Entrando na primeira tábua com rumo = 240° encontram-se:

$$Dj = 0,50' \text{ e } ap = 0,87'$$

b) Como a distância navegada foi de 80 milhas, teremos:

$$Dj (\text{total}) = 80 \times 0,50' = 40,0' \text{ S}$$

$$ap (\text{total}) = 80 \times 0,87' = 69,6' \text{ W}$$

c) $j_1 = 28^\circ 37,4' \text{ S}$

$$Dj = 40,0' \text{ S}$$

$$j_2 = 29^\circ 17,4' \text{ S}$$

d) $j_m = 28^\circ 57,4' \text{ S} @ 29^\circ \text{ S}$

Entrando na segunda tábua com j_m , obtém-se, interpolando:

$$\text{FATOR} = 1,14$$

e) Portanto: $Dl = 69,6' \times 1,14 = 79,3' \text{ W}$

f) $l_1 = 160^\circ 12,6' \text{ E}$

$$Dl = 1^\circ 19,3' \text{ W}$$

$$l_2 = 158^\circ 53,3' \text{ E}$$

g) Posição final da embarcação de salvamento:

Latitude 29° 17,4' S, Longitude 158° 53,3' E.

43.5 NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA

– Medição da Altura dos Astros

Se um sextante estiver disponível, as alturas dos astros devem ser medidas conforme descrito no Capítulo 21 (Volume II deste Manual). O erro instrumental deve ser determinado e verificado com frequência. Quando utilizando um sextante em uma balsa salva-vidas ou

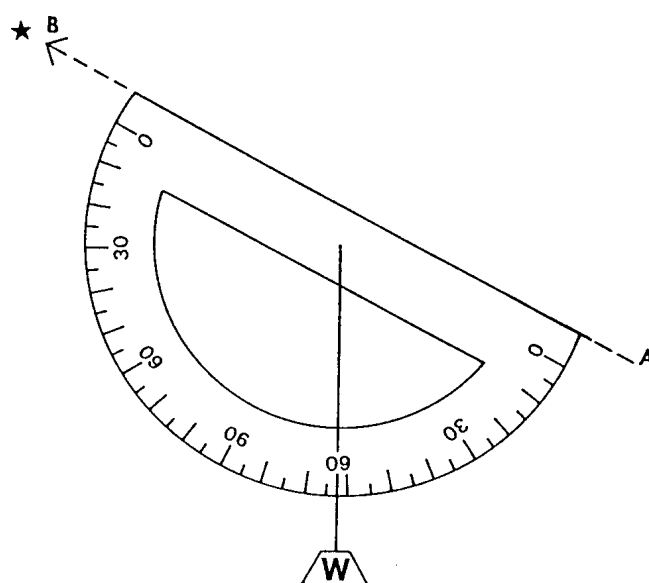
outra embarcação miúda, o observador deve medir a altura do astro no instante em que estiver sobre uma crista de onda, para assegurar melhores resultados. A elevação do olho a ser usada nos cálculos deve ser igual à altura do olho em águas calmas mais metade da altura das ondas.

Na ausência de sextante, as alturas dos astros podem ser medidas com um instrumento de fortuna, conforme adiante descrito.

Um transferidor de desenho, convencional ou construído com uma rosa de manobra fixada a uma tábua ou prancheta, tendo um peso atado ao seu centro de curvatura por uma linha leve, de modo que cruze a escala externa, poderá ser usado para medição de alturas dos astros.

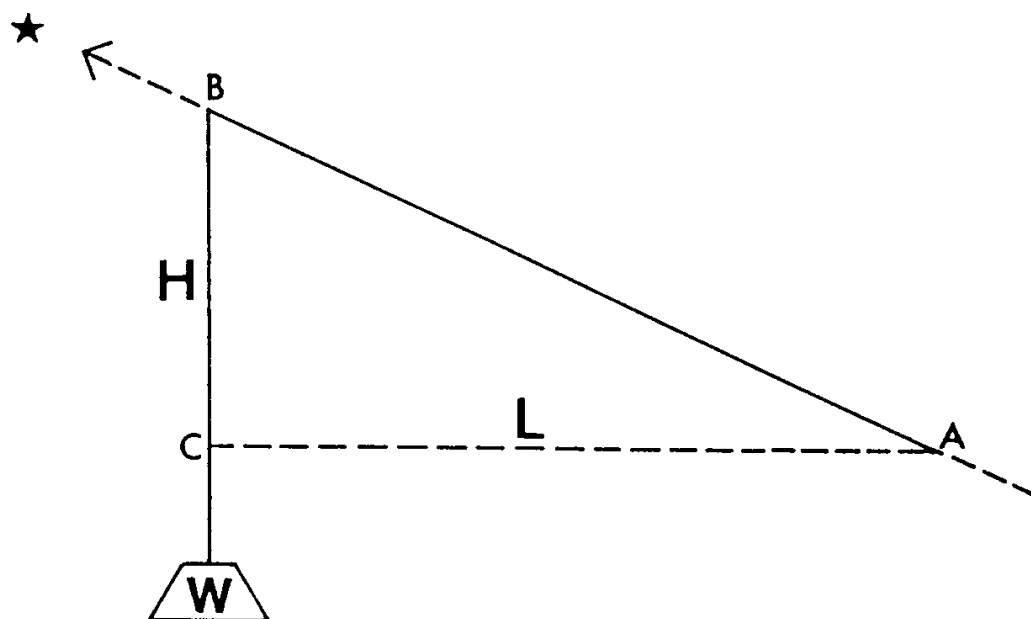
Na figura 43.6, o observador visa o astro através do lado reto do transferidor, **AB**, enquanto um assistente efetua a leitura, na escala do instrumento, no ponto onde a linha fixada ao peso cruza a escala. Esta leitura é a **distância zenital (z)** do astro (se o transferidor for graduado como mostra a figura 43.6). A altura do astro, então, será igual a $90^\circ - z$. Na figura, a leitura é $62,5^\circ$; portanto, a altura do astro visado será de $27,5^\circ$. Diversas leituras devem ser tomadas e calculada a média, para obtenção de um valor mais preciso para a altura. No caso do Sol, este método exige que o olho do observador esteja adequadamente protegido, com óculos escuros ou filtros apropriados.

Figura 43.6 – Medição da Distância Zenital de um Astro com Sextante de Fortuna



Uma variante do método, mostrada na figura 43.7, consiste em fixar o peso ao centro de curvatura do transferidor por um pino perpendicular ao plano do instrumento. Na medição, o transferidor é mantido na horizontal por um assistente, que garante que a linha que suporta o peso cruza a escala de leitura exatamente a 90° . O observador, então, move um outro pino ao longo da escala de leitura do transferidor, até que este e o pino do centro do instrumento estejam alinhados com o astro (na direção **AB**, mostrada na figura 43.7). Quando o transferidor é usado deste modo, a altura do astro é indicada diretamente na escala de leitura. Na figura, a altura é de 49° . Como no caso anterior, este método só deve ser usado para medição da altura do Sol se o olho do observador estiver adequadamente protegido.

Figura 43.8 – Medição da Altura de um Astro com Um Prumo e Dois Pinos (Sem Escala Graduada em Graus)



EXEMPLO:

Após efetuar a medição da altura da estrela polar pelo método acima, foram encontrados os seguintes valores:

$$AC = L = 16 \text{ cm}$$

$$BC = H = 10,2 \text{ cm}$$

Determinar a altura do astro.

SOLUÇÃO:

a. $L/H = 1,575$

b. Entrando com este valor na tabela acima, interpolando, obtém-se:

$$\text{altura @ } 32,6^\circ = 32^\circ 36'$$

Se estivermos em terra, ou se a embarcação de salvamento estiver bem estável (“mar chão”), a altura do Sol pode ser determinada pela medida do comprimento de sua sombra. Fixe um pino ou prego sem cabeça perpendicularmente em uma tábua e coloque-a para flutuar em um balde com água. Então, meça cuidadosamente o comprimento da sombra do pino (ou prego). Vire a tábua 180° em azimute e meça novamente o comprimento da sombra, calculando a média com o valor anterior. Divida a média do comprimento da sombra (L) pela altura do pino (H) e entre com o valor encontrado na coluna L/H da tabela reproduzida na página anterior, obtendo, na coluna ao lado, o valor da altura do Sol naquele instante.

EXEMPLO:

O **comprimento da sombra** de um pino de 5 cm de **altura** é 3,5 cm. Calcular a **altura do Sol**.

SOLUÇÃO:

- Temos: $L = 3,5 \text{ cm}$ e $H = 5 \text{ cm}$
- Então: $L/H = 0,700$
- Entrando na tabela com o valor L/H , obtém-se:

altura do Sol = 55°

Quando usando qualquer dos métodos descritos, devem ser realizadas várias medições e calculada a média das alturas (com a média das horas das medições), para obtenção de valores mais precisos.

Seja qual for o método usado, **meça** a altura do astro. Por mais aproximada que seja, esta medida será melhor que uma estima da altura. Não tente **estimar** a altura de um astro.

– Correção das Alturas Medidas

Se as tábuas para correções de alturas do Almanaque Náutico estiverem disponíveis, as correções devem ser feitas como anteriormente explicado.

Se for usado um prumo (peso) para estabelecer a vertical, ou se a altura for obtida pela medida do comprimento da sombra, não há correção para **depressão do horizonte**. Além disso, quando se obtém a altura do Sol pela medida do comprimento de uma sombra ou pelo alinhamento da sombra de um pino com uma escala graduada ou com outro pino, a altura determinada corresponde ao centro do Sol; assim, não é necessária qualquer correção para o semidiâmetro.

· Refração:

Os valores aproximados das correções de altura para a **refração** podem ser encontrados na tábua abaixo:

Alt. (°)	5	6	7	8	10	12	15	21	33	63	90
Corr. (')	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

A tábua crítica acima mostrada fornece correções para alturas de 5° a 90° . Se o método empregado para medição das alturas dos astros for muito aproximado pode-se adotar o seguinte procedimento:

- alturas acima de 20° : podem ser consideradas como não tendo correção para a refração;
- alturas entre 5° e 20° : aplicar uma correção de $0,1^\circ$. Observações de alturas inferiores a 5° devem ser evitadas.

A correção para a refração é sempre **subtrativa** e aplica-se às observações de todos os astros, seja qual for o método empregado.

· Semidiâmetro:

O semidiâmetro médio do Sol é $16'$ e o valor real não difere deste valor médio de mais de $0,3'$. Se o **limbo inferior** do Sol for observado, a correção é **positiva (+)**; se o **limbo superior** for observado, a correção é **negativa (-)**.

• **Depressão:**

Pode-se considerar, com precisão suficiente para uso em uma embarcação de salvamento, a **correção para a depressão do horizonte**, em minutos de arco, igual a:

$$c (^{\circ}) = \sqrt{\text{elevação (pés)}}$$

ou:

$$c (^{\circ}) = 1,8 \sqrt{\text{elevação (metros)}}$$

Esta correção deve ser usada para todos os astros, sempre que o **horizonte visual** for utilizado como referência para as alturas observadas; ela é sempre **negativa (-)**.

• **Paralaxe:**

Correção só aplicável para observações da Lua.

– **Observações de Astros no Horizonte**

Uma **linha de posição** pode ser obtida sem um sextante ou outro instrumento de medição de altura, pela anotação da hora em que um astro faz contato com o horizonte visual. O astro mais conveniente para estas observações é o **Sol**, podendo-se usar tanto o **limbo superior** como o **limbo inferior**. Um binóculo pode ajudar na determinação do instante de contato; não deve haver nuvem ou nebulosidade nesse setor do horizonte.

Tais observações do Sol proporcionam resultados bastante precisos. A altura observada (sem as correções) é 00° 00' e deve ser cuidadosamente corrigida para **depressão, refração e semidiâmetro**. Para a **refração**, adotar uma correção para altura 0° igual a – 34,5'.

EXEMPLO:

Um observador, com elevação (altura do olho sobre o nível do mar) igual a 2,0 m (6,5 pés), observou o **limbo superior** do Sol no horizonte. Determinar a **altura verdadeira** do astro no referido instante.

SOLUÇÃO:

$$\begin{array}{rcl} \text{Altura observada (ao)} & = & 00^{\circ} 00,0' \\ \text{dp ap (elev. 2,0 m)} & = & - \quad 2,5' \\ \text{Refração (altura 0^{\circ})} & = & - \quad 34,5' \\ \text{SD (limbo superior)} & = & - \quad 16,0' \\ \hline \text{Altura verdadeira (a)} & = & - \quad 00^{\circ} 53,0' \end{array}$$

O próximo passo seria determinar a **altura calculada (ae)** e o **Azimute verdadeiro (Az)** do astro para nossa posição estimada (ou assumida). Então, poderíamos obter a **diferença de alturas (Da = a – ae)** e plotar a **reta de altura (LDP)** do Sol.

O Azimute do Sol deve ser obtido no mesmo instante em que se observa o astro no horizonte, para verificação do desvio da agulha da embarcação de salvamento.

Nos trópicos, um curto relâmpago verde ocorre no horizonte no exato momento do nascer ou ocaso do Sol. O fenômeno, que se estima que possa ser visto nos mares tropicais cerca de 50% das vezes em que o limbo superior do Sol toca o horizonte, é denominado de **raio verde** (“green flash”), sendo causado pela refração, dispersão e

absorção atmosférica dos raios luminosos do **Sol**. Este curto relâmpago verde dura, normalmente, entre 0,5 e 1 segundo e pode ser melhor observado no ocaso. Se marcarmos a hora em que o **raio verde** ocorre, estaremos observando o limbo superior do Sol no horizonte e poderemos determinar uma LDP, conforme já explicado.

– Linhas de Posição

Se houver a bordo da embarcação de salvamento Almanaque Náutico e Tábuas para Navegação Astronômica, ou calculadora eletrônica de navegação, o cálculo das retas de altura deve ser feito como explicado em capítulos anteriores. Entretanto, se estes recursos não estiverem disponíveis, a Latitude e a Longitude devem ser determinadas separadamente, conforme se fazia antes da descoberta da linha de posição pelo Capitão Sumner, em 1837.

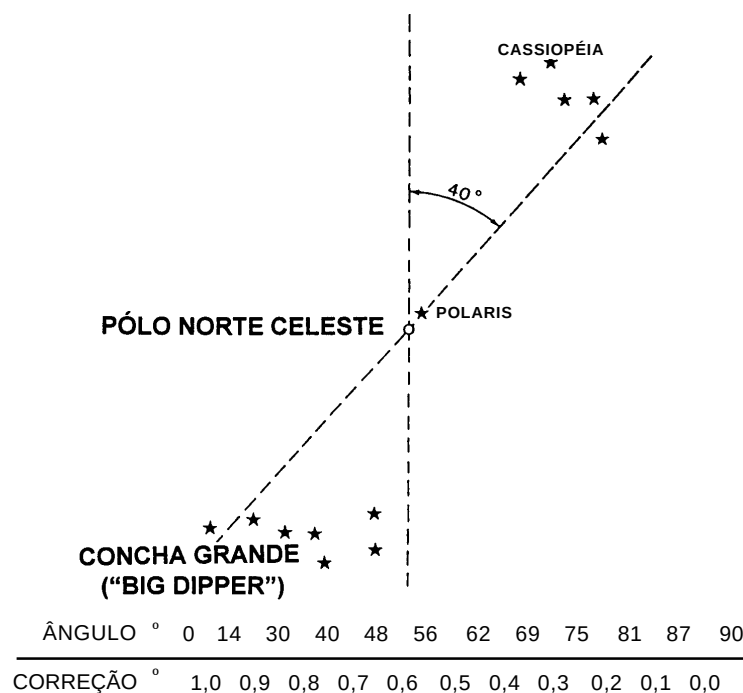
– Determinação da Latitude

A Latitude pode ser determinada, no Hemisfério Norte, por meio da observação da **altura da estrela polar (“Polaris”)**, e em qualquer local pela observação da **altura meridiana do Sol**.

• Latitude pela Estrela Polar:

Se as tábuas para correção da altura da **estrela polar** não estiverem disponíveis, a correção pode ser estimada da seguinte maneira: a linha através de **Polaris** e o **Pólo Norte Celeste**, quando estendida, passa entre as estrelas **Î** Cassiopéia e Ruchbah (as duas estrelas da esquerda de Cassiopéia, quando esta constelação aparece como um “W”), de um lado, e entre Alkaid e Mizar (as últimas duas estrelas do cabo da Concha Grande, ou “Big Dipper”), do outro (ver a figura 43.9). A **estrela polar**, com relação ao pólo, está na direção de Cassiopéia. A correção para a altura de **Polaris** depende apenas do ângulo que a linha descrita faz com a vertical; seu valor é fornecido na tábua também mostrada na figura 43.9. Se Cassiopéia estiver acima da **estrela polar**, a correção é **negativa (–)**; se a Concha Grande, ou Caçarola (“Big Dipper”) estiver acima a correção é **positiva (+)**. Na figura 43.9, o ângulo entre a linha Cassiopéia–Polaris–Pn–Concha Grande e a vertical foi estimado como sendo de 40°. A correção para a altura da **estrela polar**, dada pela tábua mostrada na figura, é 0,8°. Como Cassiopéia está acima do pólo, a correção é negativa: – 0,8°. Aplicando-se esta correção à altura verdadeira da estrela polar, obtém-se a Latitude do local.

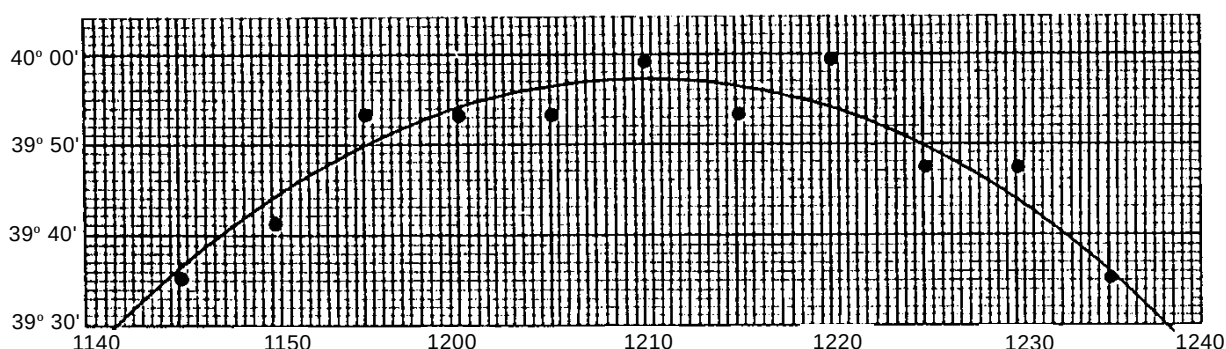
Figura 43.9 – Estimando a Correção da Altura da Estrela Polar



• Latitude pela Altura Meridiana do Sol:

A determinação da Latitude pela observação da altura do Sol na passagem meridiana (Latitude meridiana) foi explicada no Capítulo 25 (Volume II deste Manual). Em uma embarcação de salvamento, a **altura meridiana** será sempre a **altura máxima** do Sol (**altura de culminação**). Se se dispuser de papel milimetrado, pode-se plotar um gráfico das alturas observadas, para determinação da **altura meridiana** (com a **hora** correspondente), conforme mostrado na figura 43.10. Determinada a **altura meridiana verdadeira (amd)**, calcula-se a **distância zenital meridiana (zmd = 90° – amd)** e combina-se com a **Declinação** do Sol, para obter a **Latitude**.

Figura 43.10 – Gráfico das Alturas do Sol Próximo à Passagem Meridiana



• Obtenção da Declinação do Sol na Passagem Meridiana:

Se nenhum almanaque estiver disponível, o valor aproximado da **Declinação** do Sol para uma determinada data pode ser obtido da seguinte maneira: conte os dias entre a data em questão e o próximo solstício (21 de junho ou 22 de dezembro); divida este valor pelo número de dias deste solstício para o equinócio (21 de março ou 23 de setembro) cuja data dada esteja entre ele e o solstício; multiplique o resultado por 90°. Então, entre com o ângulo obtido na tabela abaixo e determine o valor do fator correspondente. Multiplique o fator por 23,45°, obtendo a Declinação do Sol para a data.

ÂNGULO	0°	18°	31°	41°	49°	56°	63°	69°	75°	81°	87°	90°
FATOR	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	

EXEMPLOS:

1 – Determinar a Declinação do Sol em 24 de agosto.

SOLUÇÃO:

a. Número de dias entre 24/08 e o solstício mais próximo (21/06): 64 dias.

b. Número de dias entre o solstício mais próximo (21/06) e o equinócio cuja data dada esteja entre ele e o solstício (neste caso: 23/09): 94 dias.

c. Ângulo = $64/94 \times 90^\circ = 61,3^\circ$

d. Na tabela acima: FATOR = 0,5

e. Dec (SOL) = $0,5 \times 23,45^\circ = 11,7^\circ$ N (sabe-se que a Declinação é Norte por causa da data).

2 – Determinar a Declinação do Sol em 17 de maio.

SOLUÇÃO:

a. Número de dias entre 17/05 e o solstício mais próximo (21/06): 35 dias.

b. Número de dias entre o equinócio (21/03) e o solstício (21/06) que circundam a data: 92 dias.

c. Ângulo = $35/92 \times 90^\circ = 34,2^\circ$

d. Na tabela: FATOR: 0,8

e. Dec (SOL) = $0,8 \times 23,45^\circ = 18,8^\circ$ N

Com o valor da Declinação do Sol e da sua distância zenital meridiana, calcula-se a **Latitude** do observador, conforme explicado no Capítulo 25 (Volume II deste Manual).

– Determinação da Latitude pela Duração da Luz do Dia

A **Latitude** também pode ser determinada, embora de maneira menos precisa, pela duração da luz do dia.

Para usar este método, devem ser anotadas as horas do nascer e do pôr-do-Sol e calculado o período total de duração da luz do dia. Este período, para uma determinada data, é função da Latitude. A duração da luz do dia deve ser computada desde o momento que o limbo superior do Sol surge acima do horizonte, no nascer, até o instante em que desaparece abaixo do horizonte, no ocaso (esse instante é, às vezes, marcado por um raio de luz verde).

Com a duração da luz do dia, pode-se determinar a Latitude, pelos gráficos das figuras 43.11 (para o Hemisfério Sul) e 43.12 (para o Hemisfério Norte).

EXEMPLOS:

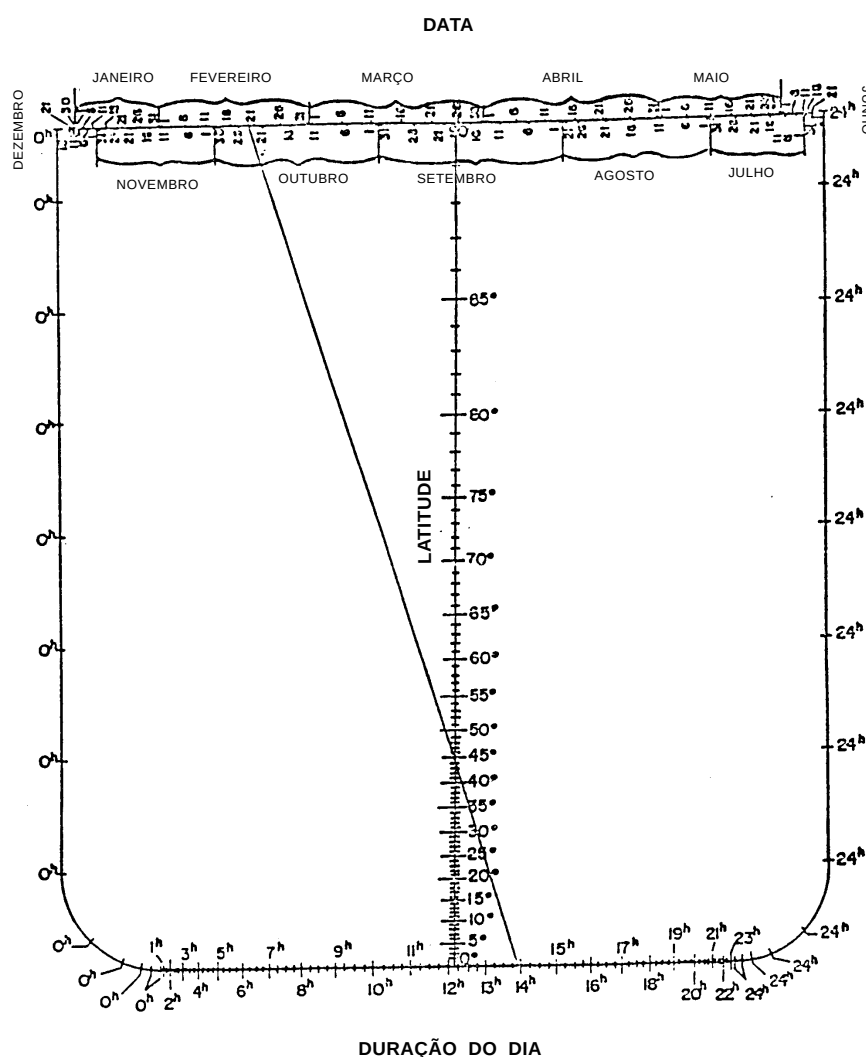
1 – Data: 21 de fevereiro; duração da luz do dia: 13^h50^m ; Hemisfério Sul. Pelo gráfico da figura 43.11, determina-se: Latitude = 45° S.

2 – Data: 23 de abril; duração da luz do dia: 13^h50^m ; Hemisfério Norte. Pelo gráfico da figura 43.12, determina-se: Latitude = 45° N.

Este método para determinação da Latitude é pouco preciso e só deve ser usado quando não houver meios para medição de altura de astros. Próximo dos equinócios de março e de setembro o método não deve ser usado; além disso, ele é de pouco valor nas vizinhanças do equador, em qualquer época.

– Determinação da Longitude

Sem um cronômetro, ou relógio razoavelmente preciso, não há como determinar a Longitude no mar.

Figura 43.11 – Latitude pela Duração da Luz do Dia – Hemisfério Sul

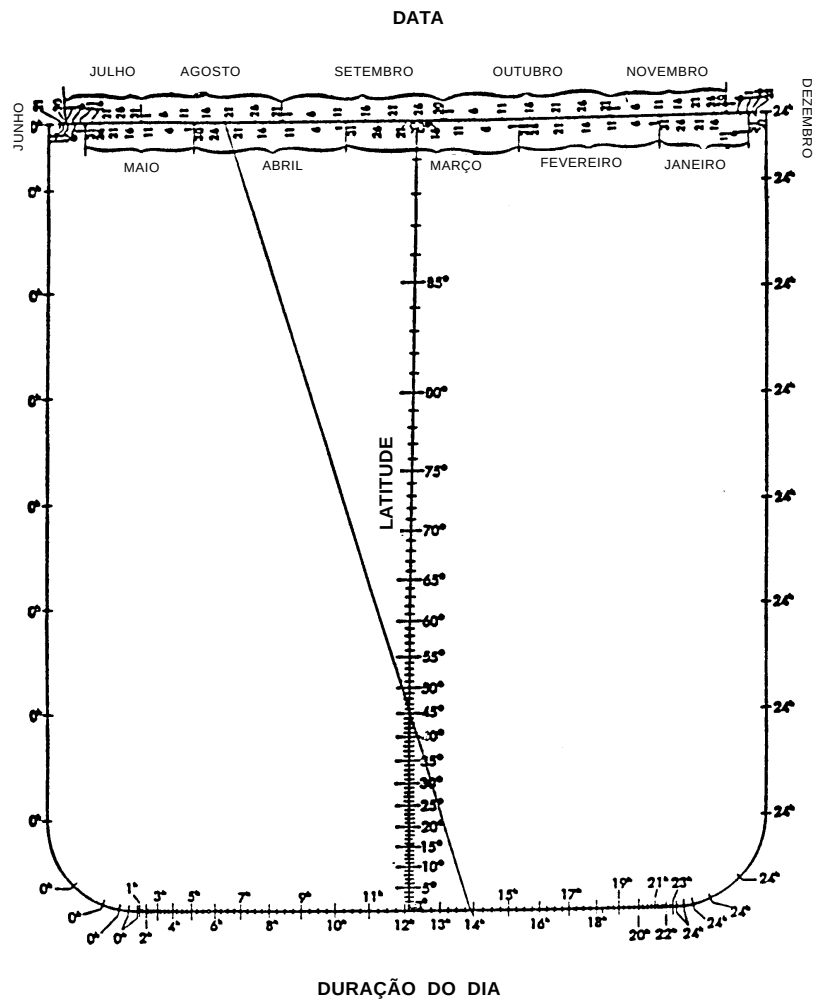
Sabemos que, na **passagem meridiana** do Sol, tem-se, para um observador situado a W de Greenwich: $\text{Long} = \text{AHG (Sol)}$; e para um observador a E de Greenwich: $\text{Long} = 360^\circ - \text{AHG (Sol)}$.

O problema de obtenção da Longitude, portanto, consiste em determinar a hora exata da passagem meridiana e o valor do AHG do Sol nesse instante.

A hora da passagem meridiana pode ser obtida, de maneira aproximada, anotando-se a hora em que o Sol alcançou sua altura máxima (**altura de culminação**).

Este instante, entretanto, não pode ser determinado com precisão na prática, pois a altura do Sol varia muito lentamente nas proximidades do meridiano, tornando muito difícil definir exatamente o momento em que o astro atinge, realmente, sua altura máxima. Uma precisão melhor é obtida observando-se alturas iguais do Sol cerca de 30 minutos antes e depois da passagem meridiana, conforme explicado no Capítulo 26, Volume II deste Manual (no item “Cálculo da Longitude por Ocasião da Passagem Meridiana – Método das Alturas Iguais”). A hora da passagem meridiana será a média das horas correspondentes às alturas iguais medidas antes e depois da **pmd**.

Figura 43.12 – Latitude pela Duração da Luz do Dia – Hemisfério Norte



Com a hora da passagem meridiana e o valor aproximado da Equação do Tempo para a data, fornecido pela tabela abaixo, podemos calcular a Longitude da embarcação de salvamento por ocasião da passagem meridiana do Sol.

Data	Eq. T.	Data	Eq. T.	Data	Eq. T.
	m s		m s		m s
Jan. 10	– 7 29	Maio 10	+ 3 41	Set. 10	+ 2 53
20	– 11 02	20	+ 3 39	20	+ 6 25
30	– 13 21	30	+ 2 42	30	+ 9 51
Fev. 10	– 14 21	Jun. 10	+ 0 50	Out. 10	+12 51
20	– 13 53	20	– 1 16	20	+15 05
28	– 12 43	30	– 3 23	30	+16 15
Mar. 10	– 10 30	Jul. 10	– 5 08	Nov. 10	+16 04
20	– 7 41	20	– 6 10	20	+14 25
30	– 4 39	30	– 6 19	30	+11 25
Abr. 10	– 1 27	Ago. 10	– 5 19	Dez. 10	+ 7 20
20	+ 1 01	20	– 3 24	20	+ 2 33
30	+ 2 47	30	– 0 43	30	– 2 25

Deve-se interpolar na tabela acima, para determinar o valor aproximado da Equação do Tempo para a data da observação, com maior rigor.

EXEMPLO:

No dia 15 de julho, a altura do Sol é de 30° nas seguintes horas legais do fuso + 9(V): $11^h 21^m 14^s$ e $12^h 06^m 32^s$. Calcular a Longitude do observador.

SOLUÇÃO:

a) Cálculo da Hleg da pmd:

$$H_1 = 11^h 21^m 14^s$$

$$H_2 = 12^h 06^m 32^s$$

$$S = 23^h 27^m 46^s$$

$$S/2 = 11^h 43^m 53^s$$

b) Cálculo da HMG da pmd:

$$Hleg = 11^h 43^m 53^s$$

$$Fuso = +9^h \quad (V)$$

$$HMG = 20^h 43^m 53^s$$

c) A Equação do Tempo dada pela tabela acima para 15 de julho é:

$$ET = -5^m 39^s \text{ (interpolando).}$$

d) Sabemos que $ET = HVG - HMG$. Portanto, $HVG = HMG + ET$. Então:

$$HMG = 20^h 43^m 53^s$$

$$ET = -5^m 39^s$$

$$HVG = 20^h 38^m 14^s$$

e) O AHG do Sol será igual a $HVG \pm 12$ horas

$$AHG = 20^h 38^m 14^s - 12^h = 08^h 38^m 14^s$$

$$AHG = 129^\circ 33,5' \text{ (transformando tempo em arco)}$$

f) Assim, a Longitude do observador será $129^\circ 33,5' W$

43.6 ESTIMA DA DISTÂNCIA DE TERRA OU DE UM NAVIO

Quando se avista terra ou um navio, é conveniente determinar a sua distância aproximada. Para isto, é necessário conhecer a altitude do ponto avistado (o que pode ser obtido, no caso de um ponto de terra, através da Carta Náutica). Se um objeto de altitude conhecida (como um pico de montanha ou ilha) bóia no horizonte, sua **distância aproximada (d)**, em **milhas náuticas**, será dada por $d = 2\sqrt{H}$, onde **H** é a **altitude** do objeto (altura sobre o nível do mar), em **metros**. Para um resultado mais preciso, deve-se somar ao valor obtido a distância entre o observador e o horizonte, calculada pela mesma fórmula, para o valor da altura do olho do observador (em metros).

EXEMPLO:

O pico de uma ilha de 610 metros de altitude bóia no horizonte de um observador cuja altura do olho sobre o nível do mar é de 2,5 metros. Calcular a distância aproximada entre a balsa salva-vidas e a ilha.

SOLUÇÃO:

$$d = 2\sqrt{H} + 2\sqrt{h} = 52,6 \text{ milhas} \approx 53 \text{ milhas}$$

Se um objeto de altitude conhecida estiver totalmente visível, sua distância aproximada pode ser determinada pelo **método da régua**, por simples proporção. Com o braço esticado, segure uma régua graduada na vertical e meça a distância subtendida pelo objeto de altitude conhecida. A distância (D) é, então, calculada pela proporção:

$$\frac{D}{d} = \frac{H}{h}$$

$$\text{ou } D = d \times \frac{H}{h}$$

Onde (ver a figura 43.13):

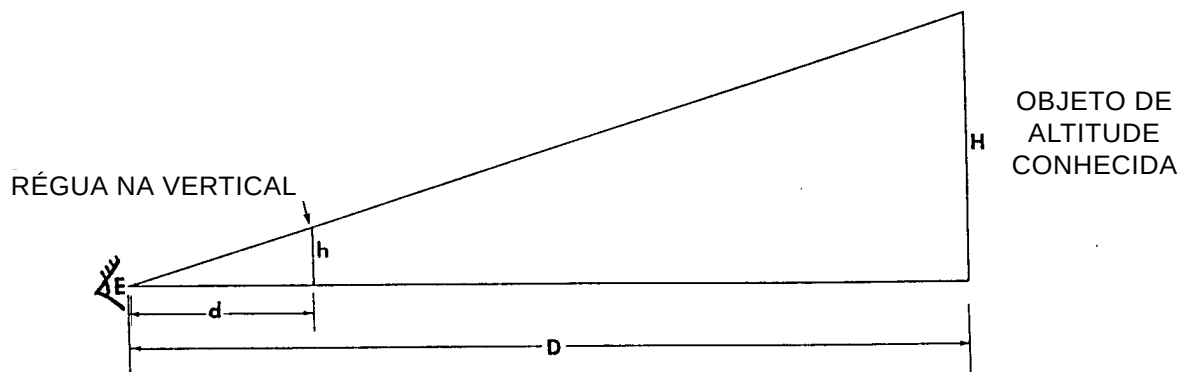
D ► distância ao objeto (em metros);

H ► altitude do objeto (em metros);

d ► distância do olho à régua (comprimento do braço), em centímetros;

h ► altura medida na régua (subtendida pelo objeto), em centímetros.

Figura 43.13 – Distância a Objeto de Altitude Conhecida pelo Método da Régua na Vertical

**EXEMPLO:**

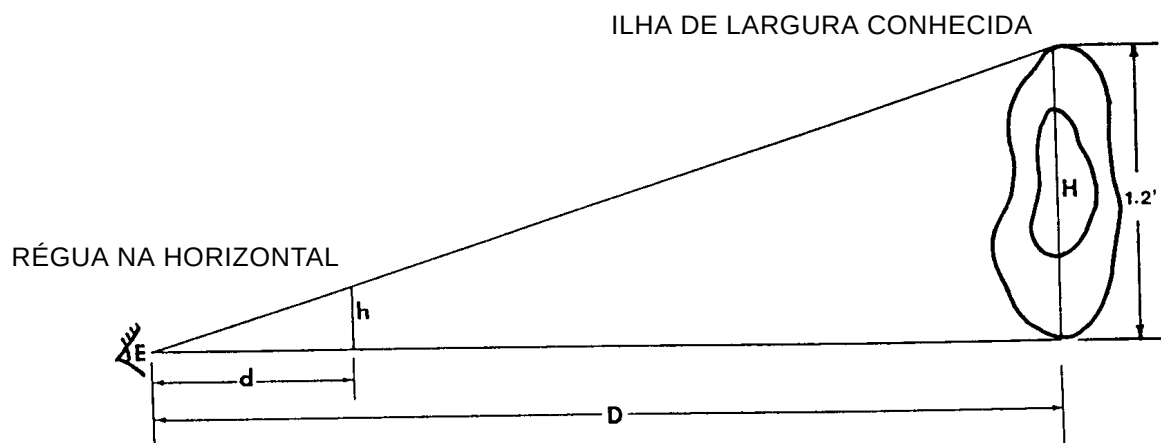
Uma ilha de 900 metros de altitude subtende na régua uma altura de 5 centímetros para um observador cujo comprimento do braço (distância do olho à régua) é de 70 centímetros. Calcular a distância aproximada da ilha.

SOLUÇÃO:

$$D = 70 \times \frac{900}{5} = 12.600 \text{ m} = 6,8 \text{ milhas} @ 7 \text{ milhas}$$

Uma variação deste método consiste em medir, com a régua na horizontal, a distância aproximada a um objeto de largura conhecida como uma ilha, por exemplo.

Neste caso, deve-se segurar a régua na horizontal e verificar o comprimento subtendido pelo objeto (ver a figura 43.14). Como na situação anterior, a distância é obtida por simples proporção.

Figura 43.14 – Distância a Ilha de Largura Conhecida pelo Método da Régua na Horizontal**EXEMPLO:**

Uma ilha de 1,2 milha de largura subtende um comprimento de 10 cm em uma régua, para um observador cujo comprimento do braço (distância do olho à régua) é de 65 cm. Calcular a distância aproximada da ilha.

SOLUÇÃO:

$$D = 65 \times \frac{1,2}{10} = 7,8 \text{ milhas @ 8 milhas}$$

43.7 NAVEGAÇÃO SEM INSTRUMENTOS. SINAIS DE TERRA

Os antigos polinésios eram capazes de navegar sem quaisquer instrumentos, usando apenas seu conhecimento do céu e do mar. Poucas pessoas hoje têm esta capacidade; por isto, este capítulo abordou o uso de instrumentos (convencionais ou improvisados) e de métodos familiares à maioria dos navegantes. No entanto, na navegação de uma embarcação de salvamento é necessário empregar todo e qualquer dado ou conhecimento disponível, principalmente quando não é possível utilizar métodos e instrumentos rotineiros.

A Declinação de uma estrela é igual à Latitude do ponto na superfície da Terra diretamente abaixo do astro (ponto subastral ou subestelar); para efeitos de navegação em uma balsa salva-vidas, a Declinação das estrelas pode ser considerada constante. Este é um dado-chave para navegação sem instrumentos. A Declinação de **Sirius**, a estrela mais brilhante do céu, por exemplo, é de cerca de 16° 40' S. Esta é aproximadamente a Latitude de Porto Seguro, na Bahia. Assim, se estivermos no Atlântico Sul com Sirius diretamente no Zênite, podemos determinar nossa Latitude (igual à Declinação do astro) e saber que, se tomarmos um rumo **W**, chegaremos a Porto Seguro. A Declinação de Alpheratz (@ 08° 38' S) é aproximadamente igual à Latitude da Ilha de Ascensão. A posição do equador é indicada no céu por qualquer astro de Declinação igual a 0°. A Declinação do Sol é 0° nos equinócios (21 de março e 23 de setembro). A estrela **Orionis** (a mais ao norte das Três Marias ou Cinturão de Orion) está muito próxima do equador. Este astro, ao nascer, indica o ponto **E** do horizonte e, ao se pôr, o ponto **W**, em qualquer Latitude.

Assim, uma determinação aproximada da Latitude pode ser feita pela observação da passagem de uma estrela de Declinação conhecida diretamente pelo Zênite. Pela comparação da Declinação da estrela com a Latitude de locais conhecidos, a posição a **E**, ou a **W**, destes lugares pode ser obtida. Então, navegando no rumo **E** ou **W** pode-se alcançar tais lugares.

A direção para terra pode ser determinada pela observação do vôo de aves marinhas ou por formações típicas de nuvens sobre ilhas. Pode-se governar em um rumo constante mantendo-se um ângulo fixo entre a proa da embarcação e a direção das ondas ou marulho. Algumas vezes, terras próximas podem ser detectadas por sons ou, até mesmo, por odores característicos. Enfim, na navegação em balsas salva-vidas é necessário ser imaginativo e engenhoso, usando os materiais que se têm à mão e o conhecimento e experiência acumulados.

De forma mais específica, são os seguintes os sinais de terra:

– **Indicação por nuvens:** nuvens e certos reflexos característicos no céu são as indicações de terra mais confiáveis. Nuvens pequenas são comuns sobre um atol, podendo, também, situar-se sobre recifes de coral. Nuvens fixas ou cristas de nuvens muitas vezes aparecem em torno dos cumes de ilhas montanhosas ou de costas elevadas. Estas nuvens são reconhecidas facilmente, pois permanecem paradas, enquanto as demais nuvens, em movimento, passam por elas. Outras indicações de terra são relâmpagos e refle-

NOÇÕES DE NAVEGAÇÃO DE SUBMARINOS

44.1 PECULIARIDADES DA NAVEGAÇÃO DE SUBMARINOS

Complementando outros tópicos já abordados em capítulos anteriores, especialmente no Capítulo 38, que estudou a Navegação Inercial e a Navegação Batimétrica, este item e os que se seguem pretendem apresentar noções e informações suplementares sobre as dificuldades adicionais da navegação de submarinos e sobre como superá-las, além de comentários sobre equipamentos e técnicas disponíveis para este tipo de navegação. Seu conteúdo é, necessariamente, limitado pela classificação de tais assuntos.

As principais diferenças entre a navegação de navios de superfície e de submarinos são:

a. O submarino opera em três dimensões; muitas vezes, é necessário, por exemplo, navegar submerso a 8 nós, a 15 metros do fundo, por períodos prolongados de tempo. Os perigos inerentes a esta situação somente podem ser comparados ao de um navio deslocando-se a 8 nós, com visibilidade restrita, em um canal estreito, com uma lazeira de apenas 15 metros para cada bordo;

b. normalmente, o único instrumento de navegação no passadiço do submarino é uma repetidora da giro; todos os demais auxílios à navegação estão no compartimento do Comando (“control room”), que é separado do passadiço por uma escada vertical de cerca de 10 metros de altura. Por esta razão, é necessário ter uma comunicação e um entrosamento muito bons entre o passadiço e o Comando, em especial em navegação costeira e em águas restritas;

c. a razão calado/comprimento é, em geral, maior nos submarinos; o calado de um SSBN (submarino portador de mísseis balísticos nucleares) ou de um grande submarino de ataque é de cerca de 10 metros; o calado de um submarino classe “Tupi” é de 6 metros, para um comprimento de 60 metros; e

d. as correntes de fundo (oceânicas e de maré) são menos conhecidas e mais difíceis de prever que as correntes de superfície.

44.2 NAVEGAÇÃO DE SUBMARINO NA SUPERFÍCIE EM ÁGUAS COSTEIRAS RESTRITAS

a. Tal como na navegação de navios de superfície, a derrota deve ser traçada com antecedência, utilizando-se as cartas náuticas de maior escala, que representam a área em que se vai navegar com maior riqueza de detalhes; além disso, devem ser compiladas todas as informações relevantes das publicações de segurança da navegação (Roteiros, Lista de Faróis, Lista de Auxílios-Rádio, Tábuas das Marés, Cartas-Piloto, Cartas de Correntes de Maré, etc.) e preparado um sumário sobre a navegação na área em que se vai transitar.

b. É essencial que o Encarregado de Navegação promova um “briefing” sobre o assunto, com todos os componentes da equipe de navegação e os demais envolvidos na manobra (incluindo o pessoal que garante o passadiço), antes de cada travessia, entrada e saída de porto, exercício ou operação em águas restritas e costeiras.

c. Durante a navegação, o procedimento normal é manter a carta náutica na mesa de navegação localizada no compartimento do Comando, onde o plotador marca as posições do submarino, usando marcações visuais (tomadas pelo Oficial que garante o periscópio), distâncias radar (enviadas pelo operador do radar), além de informações do ecobatímetro e de outros equipamentos eletrônicos de navegação (GPS, Inercial, etc.).

O Encarregado de Navegação mantém o Oficial de Manobra, no passadiço, informado da distância e do bordo de afastamento da derrota prevista, sugere rumos para retornar à derrota, informa a distância ao próximo ponto de guinada, hora da guinada, rumo da próxima pernada, existência de perigos, marcação e distância de auxílios à navegação, e todas as demais informações relevantes para a segurança da navegação.

d. As marcações visuais são tomadas pelo periscópio (o operador deve ter experiência na sua utilização, que pode ser dificultada pelo balanço e caturro do submarino).

e. É recomendável tomar marcações visuais dos alinhamentos notáveis (naturais ou artificiais), tanto para manter o rumo como para definição dos pontos de guinada.

f. O Oficial de Manobra acompanha o Comandante no passadiço, tendo em mãos cópias das cartas de maior escala, com a derrota traçada, e todas as anotações que possam facilitar a condução da navegação (pontos conspícuos, alinhamentos notáveis, rumos a seguir, marcações de guinada, etc.). Deve-se considerar a conveniência de proteger as cartas com um envelope plástico, para mantê-las limpas e secas.

g. No caso de visibilidade restrita, exigindo a adoção apenas de navegação radar, as informações de posição, rumos, etc. também fluirão para o passadiço a partir do compartimento do Comando, onde estará o Encarregado de Navegação do submarino. A equipe de navegação deverá dispor de cópias das cartas de maior escala da área em que se vai navegar, com a derrota traçada, nas quais devem estar assinalados todos os pontos conspícuos para o radar, previamente selecionados. Tais pontos serão utilizados como apoio à

determinação da posição, durante a execução da derrota pelo radar. A navegação paralela indexada deve ser usada sempre que possível.

h. Durante a navegação radar, o Encarregado de Navegação deverá proporcionar ao Comandante um fluxo contínuo de informações sobre a navegação e a segurança do submarino. As bóias demarcadoras de canal e os demais auxílios à navegação deverão ser identificados pelo radar e informados ao Oficial de Manobra, que procurará avistá-los quando o submarino deles se aproximar. Além disso, o Oficial de Manobra, munido de um cronógrafo, deverá procurar identificar qualquer sinal luminoso ou sonoro de cerração detectado.

i. O intervalo de tempo entre posições, normalmente, é de 3 minutos. No entanto, em canais estreitos ou quando as condições o exigirem, este intervalo pode ser reduzido, para até 1 minuto entre posições. O operador do ecobatímetro deverá informar a profundidade de todas as posições determinadas, para comparação com as sondagens da Carta Náutica; além disso, deverá alertar se a profundidade diminuir perigosamente.

j. Com visibilidade restrita, a velocidade deve ser reduzida para um valor seguro (geralmente abaixo de 6 nós).

k. Periodicamente, deve ser feita uma verificação em uma escala longa do radar, para detectar alvos que se aproximam e evitar surpresas.

l. Para atender às necessidades do passadiço e da equipe de navegação, o submarino deve dispor de, pelo menos, dois exemplares de cada carta náutica a ser utilizada na navegação costeira e em águas restritas.

44.3 NAVEGAÇÃO DE SUBMARINO SUBMERSO (PRINCIPAIS DIFICULDADES)

A navegação de submarino submerso apresenta dificuldades especiais (algumas já citadas), pelas seguintes razões:

1. O submarino está operando em três dimensões;
2. há uma falta geral de conhecimento das correntes de fundo, oceânicas ou de maré; além disso, o conhecimento da topografia do fundo é, ainda, bastante imperfeito;
3. as oportunidades para determinação da posição são muito limitadas;
4. o submarino sempre reluta em efetuar quaisquer emissões de sonar ou ecobatímetro, que podem denunciar sua presença;
5. obstáculos como cascos soçobrados, picos submarinos e bancos, que não constituem perigos para os navios de superfície e cujas existências não são conhecidas, não estão, por esta razão, representados nas cartas náuticas, significando perigos de colisão para submarinos submersos; deve-se recordar sempre que grandes extensões dos oceanos, mares e zonas costeiras do nosso planeta não estão adequadamente levantadas e cartografadas; um elevado número de cartas náuticas serve apenas, quando muito, para navegação de superfície, deixando de incluir detalhes essenciais do relevo do fundo, omitindo muitos acidentes perigosos para a navegação de submarinos. Ademais, em diversas regiões da Terra, atividades vulcânicas submarinas resultam em extrusões e protuberâncias posteriores à preparação das cartas náuticas da área; exemplos recentes são a formação de novas ilhas e baixios (alguns tendo novamente desaparecido após um curto período de tempo) ao largo da Islândia, Açores, Japão e outras regiões do oceano Pacífico;

6. qualquer falha humana ou de equipamento pode resultar em uma colisão do submarino com o fundo; e

7. navios de superfície também representam perigo para submarinos submersos que desconhecem sua presença; um superpetroleiro de 500.000 toneladas cala até 24 metros e, com balanço e caturro forte, este calado pode ser aumentado para cerca de 33 metros. Isto significa que um submarino deve manter uma cota (profundidade da quilha) de pelo menos 60 metros (@ 200 pés) para safar-se desses navios (200 pés é, normalmente, a cota de segurança dos submarinos).

A melhor salvaguarda contra esses perigos é manter, quando navegando submerso, uma substancial lazeira, tanto da superfície como do fundo do mar. Além disso, qualquer falha, humana ou material, na manutenção da profundidade tem um efeito muito maior em altas velocidades; então, quando a separação vertical é limitada pela profundidade, a velocidade do submarino deve ser reduzida. O mesmo deve ocorrer em áreas inadequadamente cartografadas.

44.4 SOMATÓRIO DE ERROS (“POOL” DE ERROS)

Por causa dos problemas especiais inerentes à navegação de submarino submerso, é importante que todos os erros possíveis na avaliação da posição estimada sejam apreciados e levados em conta. A precisão de uma navegação estimada e das posições estimadas plotadas depende:

1. Da precisão da última posição determinada (que deu origem à plotagem estimada);
2. do intervalo de tempo decorrido desde a última posição determinada;
3. dos erros de rumo (que combinam desvios da agulha não detectados ou mal determinados e erros de governo);
4. dos erros na distância navegada (devidos, principalmente, às imprecisões do odômetro); e
5. dos elementos da corrente de fundo (direção e velocidade).

O somatório desses efeitos, alguns fixos e outros variáveis, resulta em que não se pode considerar a posição estimada como um ponto, mas sim como uma área de posições possíveis do submarino (zona de incerteza da posição). Para determinar a área em que a posição do submarino está localizada, todos estes fatores devem ser considerados. Esta área é, também, denominada de “pool” de erros.

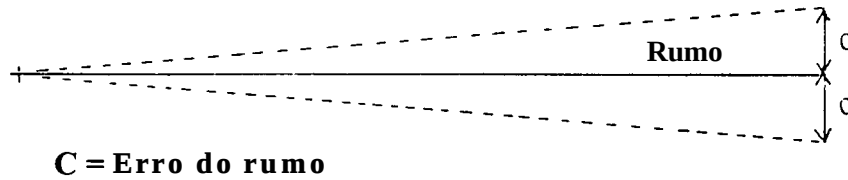
Em geral, não é necessário seguir todas as etapas adiante descritas para o traçado do “pool” de erros, bastando ao navegante experiente estimar, com base nos seus conhecimentos e na sua prática, o efeito combinado de todos os erros que afetam a posição e estabelecer as dimensões da área que engloba todas as posições possíveis do submarino. Entretanto, as explicações seguintes mostram como o “pool” de erros pode ser traçado, apresentando, ainda, algumas indicações sobre o tamanho do “pool”:

1. Para o traçado do “pool” em torno da posição estimada, consideram-se os seguintes efeitos:

a. **Erro do rumo:** é a diferença entre a linha de rumo da plotagem estimada e o rumo em que realmente se navegou; é causado por desvios da agulha e erros de governo.

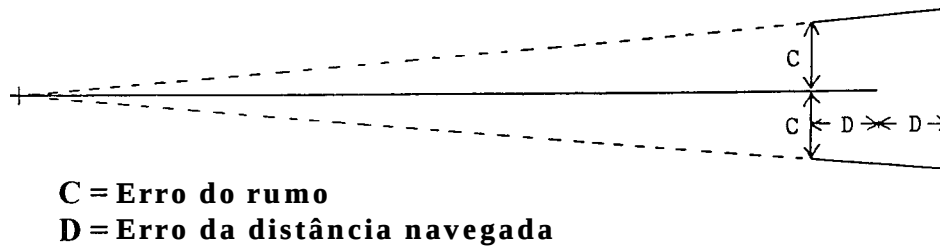
O erro do rumo deve ser estimado como um número de graus de erro possível para cada lado do rumo ordenado e resulta em uma área triangular, conforme mostrado na figura 44.1.

Figura 44.1 – Erro do Rumo



b. **Erro da distância navegada:** é a diferença entre a distância estimada e a distância realmente navegada (em relação à água); é, normalmente, igual ao erro do odômetro, sendo estimado como o número de milhas de erro possível, para adiante ou para trás da posição estimada. Quando aplicado em conjunto com o **erro do rumo**, fica formado um **trapézio de erro** (figura 44.2), assumindo-se que os limites do **erro da distância navegada** podem ser traçados como uma linha reta, perpendicular à derrota, e não como arcos de círculo.

Figura 44.2 – Combinação do Erro do Rumo e do Erro da Distância Navegada (Trapézio de Erro)



c. **Deriva:** representa uma estima da deriva possível, em todas as direções, por efeito de correntes de maré, correntes oceânicas ou movimento da água devido ao vento presente (este último fator só afetará submarinos na superfície ou em esnórquel). Correntes de maré são normalmente variáveis em direção e velocidade. Uma leitura cuidadosa das Cartas de Correntes de Maré e Cartas-Piloto, e das informações sobre correntes constantes das Cartas Náuticas e dos Roteiros, permitirá estimar as possíveis variações em direção e velocidade das correntes que afetarão a navegação. Os exemplos que se seguem explicam isto mais claramente. A figura 44.3, por exemplo, mostra as direções e velocidades das correntes oceânicas e de maré que podem influir no movimento do submarino, em uma determinada situação.

Figura 44.3 – Direções e Velocidades Possíveis das Correntes Oceânicas e de Maré (exemplo)

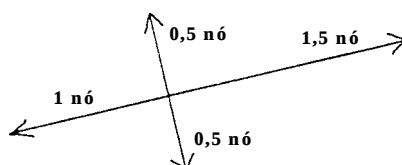
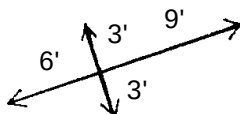


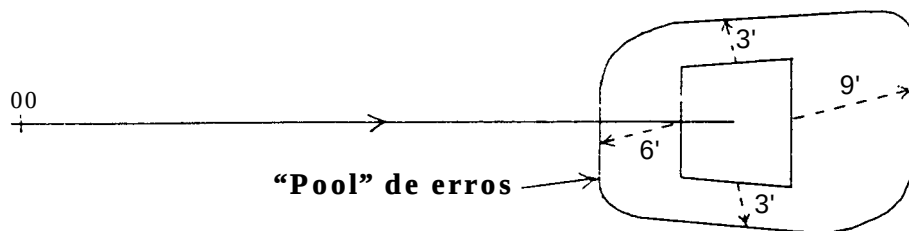
Figura 44.4 – Deriva em Milhas, para um Intervalo de Tempo de 6 Horas, Considerando as Correntes da Figura Anterior



A figura 44.4 mostra as derivas, em milhas, para um intervalo de tempo de 6 horas, considerando as correntes apresentadas na figura anterior.

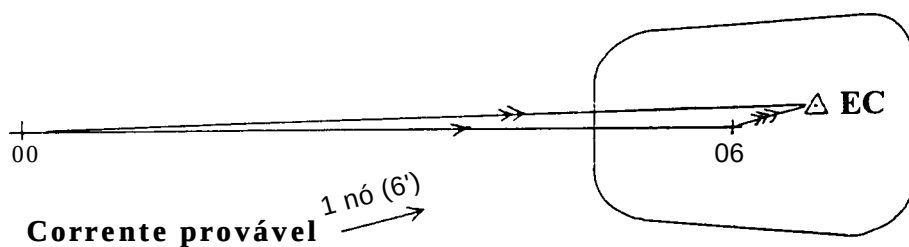
A figura 44.5 mostra essas derivas aplicadas ao **trapézio de erro**, formado pelos efeitos combinados do erro de rumo e de distância, e o **“pool” de erros** resultante. A figura formada representa o lugar geométrico de todas as posições possíveis do submarino, considerados os três efeitos citados (erro do rumo, erro da distância navegada e deriva causada pelas correntes).

Figura 44.5 – “Pool” de Erros



2. Entretanto, é necessário plotar a **posição estimada corrigida** do submarino, porque esta é sua posição **mais provável**. A **posição estimada** corrigida do submarino estará, obviamente, dentro do **“pool” de erros**, mas não necessariamente no seu centro. Na figura 44.6, por exemplo, considerando como corrente provável a indicada na figura, o ponto estimado corrigido (EC) estará na posição mostrada, afastada do centro do “pool”.

Figura 44.6 – Plotagem da Posição Estimada Corrigida (EC)



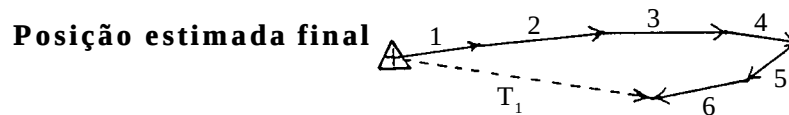
Os exemplos que se seguem sedimentam os conceitos apresentados, mostrando duas situações comparativamente simples.

EXEMPLO 1

Um submarino realizou exercícios em águas costeiras por 6 horas, desde a determinação da última posição. Em virtude de mudanças constantes do rumo e da velocidade durante as operações, não se pode tentar plotar o “pool” de erros pelo método acima discutido. Entretanto, é possível estimar que os efeitos combinados dos erros do odômetro, da agulha, do governo e da plotagem estimada mantida no decorrer do exercício produzam um erro provável de 2 milhas na posição estimada final. Portanto, um círculo com este raio representa a área de incerteza inicial da posição.

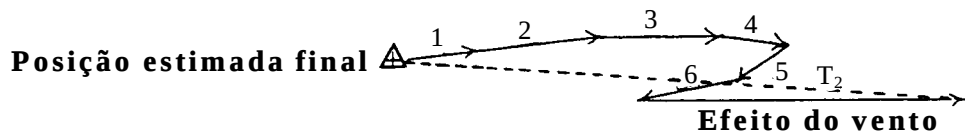
Para determinar a **posição estimada corrigida (EC)**, é necessário levar em conta o efeito das correntes. As Cartas de Correntes de Maré nos informam a direção e a velocidade da corrente de maré na área, para cada hora do período de exercícios. Na figura 44.7, o vetor correspondente a cada hora (representado por 1, 2, 3, etc.) é plotado, resultando em um efeito total da corrente de maré sobre o submarino nas 6 horas de operações igual ao vetor T_1 .

Figura 44.7 – Efeito das Correntes de Maré Durante o Período de Exercícios (6 Horas)



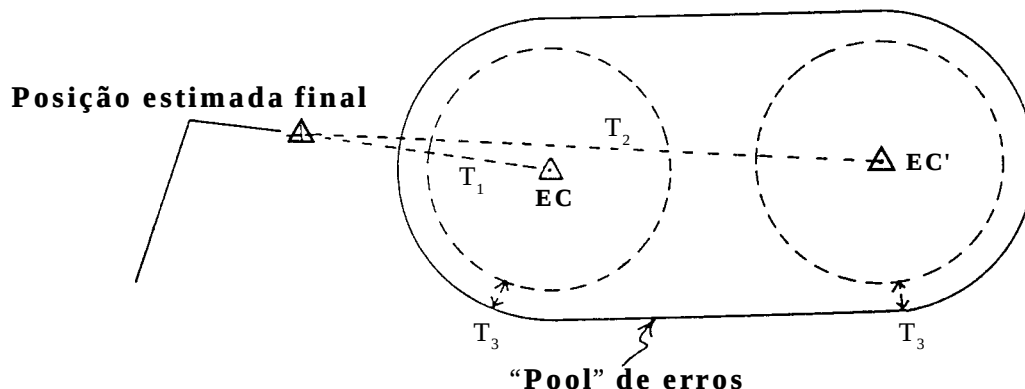
O efeito do vento presente sobre a corrente de maré deve ser aplicado considerando-se uma intensidade de 3% da velocidade do vento, na direção para a qual o vento sopra. Neste exemplo, a velocidade do vento é de 30 nós, soprando de Oeste. Assim, tal vento produzirá uma corrente adicional de 0,9 nó, no rumo leste, que deslocará 5,4 milhas para E a posição do submarino, no período de 6 horas do exercício, como ilustrado na figura 44.8. O deslocamento total da posição estimada, então, está representado pelo vetor T_2 (ver a figura 44.8).

Figura 44.8 – Efeito Combinado das Correntes de Maré e do Movimento da Água Produzido pelo Vento, no Período de Exercícios (6 Horas)



A posição estimada final é transportada ao longo dos vetores T_1 e T_2 , obtendo-se as posições EC e EC' (figura 44.9). Em torno destas posições, traçam-se círculos com 2 milhas de raio (valor do erro provável da posição estimada final). Além disso, como segurança, aplica-se, ainda, uma pequena lazeira T_3 em todas as direções, para compensar as variações das correntes de maré previstas, causadas pela configuração do fundo ou da costa. Feito isto, pode-se construir o “pool” de erros, conforme mostrado na figura 44.9. A área traçada engloba todas as posições possíveis do submarino ao final do exercício. O procedimento normal é considerar o submarino na posição mais desfavorável no “pool” de erros (ou seja, na posição mais perigosa, com relação à segurança da navegação) e, então, decidir qual o rumo e velocidade em que se deverá navegar.

Figura 44.9 – Traçado do “Pool” de Erros

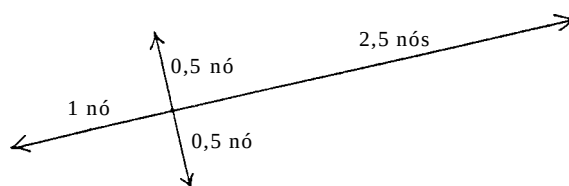


Neste exemplo, a posição estimada final do submarino ficou fora do “pool” de erros, porque, na situação descrita, tanto a corrente de maré resultante (vetor T_1) como a corrente total T_2 (somatório da corrente de maré e do movimento da água produzida pelo vento), empurravam o submarino para leste, tornando improvável um deslocamento na direção oposta.

EXEMPLO 2

Um submarino está navegando no Oceano Índico, onde as correntes, em virtude do regime das Monções, são variáveis e ainda pouco conhecidas. A Carta-Piloto correspondente à época informa que a corrente predominante na área tem a direção 080° , com velocidade de 1,5 a 2,5 nós, mas pode variar até alcançar 1 nó na direção oposta (260°). O Encarregado de Navegação decidiu usar uma corrente estimada de 080° , com 1,5 nó para obter a posição estimada corrigida e considerar as informações da Carta-Piloto sobre variações da corrente para traçar o diagrama mostrado na figura 44.10.

Figura 44.10 – Diagrama das Correntes Possíveis (Exemplo 2)



O valor estimado do **erro do rumo** é de $1,5^\circ$ para cada bordo do rumo ordenado; o **erro da distância navegada** (erro do odômetro) é de 0,25 milha/hora.

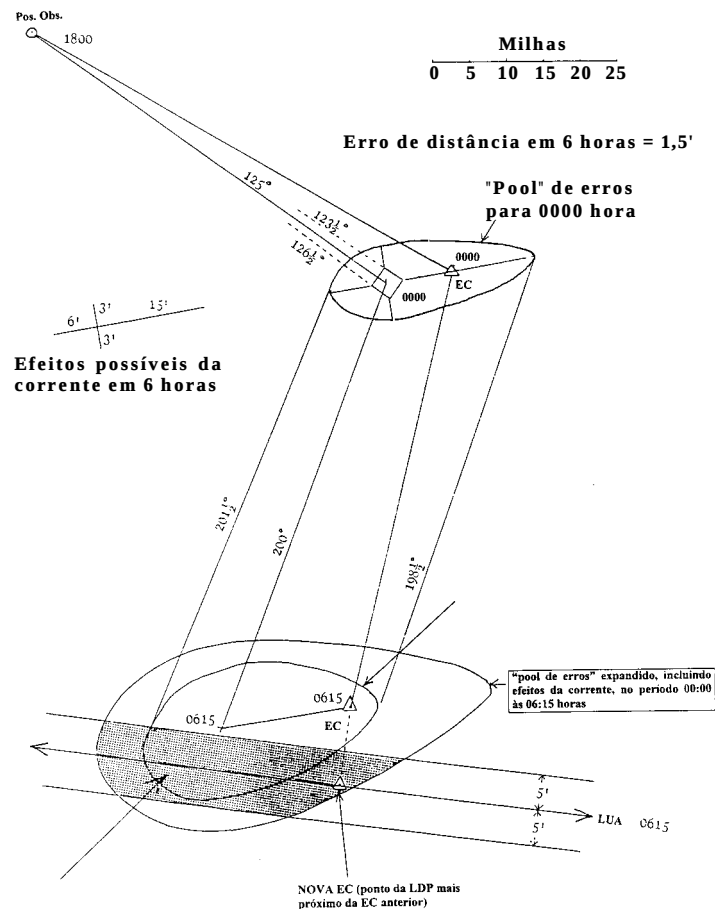
Às 1800 horas, o submarino determinou sua posição, pela observação de astros no crepúsculo vespertino (ver a figura 44.11) e assumiu o rumo 125° , velocidade 10,0 nós. À 0000 hora, guinou para o rumo 200° .

A parte superior da figura 44.11 mostra a posição estimada corrigida (EC) para 0000 hora e o “pool” de erros para este instante, traçado conforme anteriormente explicado.

O submarino prosseguiu no rumo 200° , velocidade de 10,0 nós, até que, às 0615 horas, obteve uma linha de posição (LDP) pela observação da Lua. Estima-se que esta LDP tenha uma precisão de $\pm 5'$.

A parte inferior da figura mostra o “pool” de erros expandido, transportado no período de 0000 às 0615 horas. A zona sombreada representa o novo “pool” de erros para 0615 horas, cuja área pôde ser reduzida em virtude da obtenção da LDP da Lua.

Como mencionamos, na prática o “pool” de erros pode ser traçado pelo navegante em torno da posição estimada corrigida (EC) sem seguir todas as etapas acima descritas. Basta que se construa, tendo como centro a EC, um círculo cujo raio seja igual à “confiança” atribuída à estima, levando em conta o efeito combinado de todos os erros que possam ter afetado a posição.

Figura 44.11 – “Pool” de Erros Expandido


44.5 NAVEGAÇÃO DE SUBMARINO SUBMERSO NAS PROXIMIDADES DA COSTA

O maior problema para a navegação na cota periscópica é o horizonte visual e radar extremamente curto, em virtude da pequena elevação tanto do periscópio como da antena do radar. Além disso, são poucas as oportunidades de emissão radar ou de observação com o periscópio. Assim, é difícil determinar a posição e o submarino, freqüentemente, deve confiar na sua navegação estimada, que deve ser mantida com o máximo possível de precisão.

Quando o periscópio é equipado com repetidora da giro, marcações visuais podem ser observadas com 0,5° de precisão. Periscópios sem repetidoras permitem apenas a leitura de marcações relativas que, se forem tomadas com cuidado, podem ser convertidas em marcações verdadeiras com o mesmo grau de precisão acima citado. As repetidoras devem ser freqüentemente verificadas, a fim de certificar-se de sua sincronia com a agulha principal.

O radar, quando usado na cota periscópica, tem um alcance limitado. Isto reduz severamente a distância de detecção de pequenos objetos e dificulta a navegação quando a costa é baixa. O uso de "pulsos longos" proporcionará maiores distâncias radar que o de "pulsos curtos".

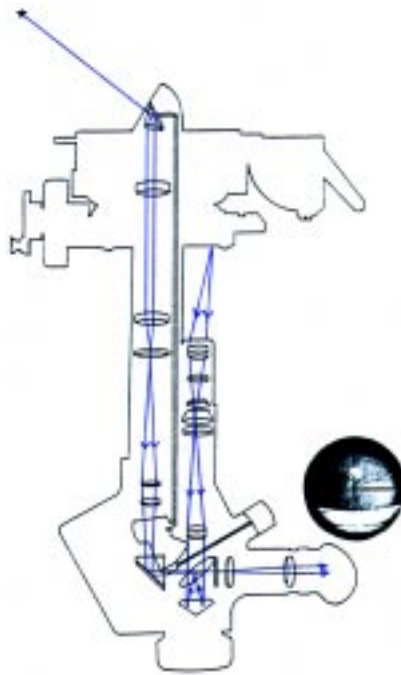
Algumas distâncias típicas de detecção, com bom tempo, são:

- Farol (com 40 metros de altitude) – 14 milhas;
- navio (com altura do mastro de 12 m) – 7 milhas; e
- bóia (com refletor radar) – 2 milhas.

Estas distâncias poderão ser consideravelmente aumentadas se houver duto de superfície.

O retorno do mar (“clutter”) em um radar de submarino é considerável em distâncias pequenas, com, praticamente, qualquer estado do mar. Assim, a distância mínima de detecção será de cerca de 300 jardas.

Quando operando o radar na cota periscópica, a manutenção da profundidade (cota do submarino) é muito importante. Embora existam recursos para prevenir avarias no motor da antena se esta mergulhar, a imagem radar ficará prejudicada se houver borrisfo forte ou mar quebrando sobre a antena.

Figura 44.12 – Diagrama Esquemático do Sistema Ótico de um Sextante de Periscópio

Este sextante pode ser usado a qualquer hora, inclusive à noite, quando estrelas de primeira e segunda magnitudes, além dos quatro planetas utilizados em navegação astronômica, podem ser observados. Com boas condições, pode-se obter uma precisão de ± 2 minutos de arco nas alturas observadas.

O sextante de horizonte artificial é estabilizado apenas na linha de visada; por esta razão, se o submarino estiver balançando ou caturrando atravessado com relação à linha de visada, deve ser aplicada uma correção às leituras, em função do ângulo médio de caturro ou balanço no período da observação. Esses ângulos podem ser obtidos nos indicadores de balanço e caturro do Sistema Inercial ou lidos no clinômetro, e a correção é fornecida em tábuas especiais. Além disso, velocidades acima de 6 nós causam vibrações que tornam muito difíceis e imprecisas as visadas com este sextante.

Em virtude de não haver referências externas (como, por exemplo, o Sol, as ondas, o vento, etc.), em um submarino submerso o rumo deve ser constantemente verificado em todas as agulhas disponíveis (os submarinos têm, normalmente, pelo menos duas agulhas giroscópicas, sendo uma principal e uma auxiliar, ou de emergência).

As correntes oceânicas de fundo também são muito pouco conhecidas, mas alguns comentários, baseados na experiência prática, podem ser feitos. Quando a direção da corrente subsuperficial é a mesma que a da corrente de superfície, sua velocidade diminui com a profundidade. Há diversas áreas no mundo onde, devido à proximidade da plataforma continental ou da calota polar, ou devido à transferência de água de um oceano para outro, a direção da corrente de fundo difere da corrente superficial de até 180° . Nestes casos, a corrente de fundo é, normalmente, constante por longos períodos.

Muitas vezes, um navio de superfície pode constatar que entrou em uma corrente de superfície pela medida da temperatura da água do mar, sendo a Gulf Stream e a Corrente do Labrador exemplos significativos de corrente quente e corrente fria, respectivamente. Do mesmo modo, um submarino pode ser alertado da presença de uma corrente de fundo pelo lançamento do batitermógrafo, capaz de detectar uma camada de água do fundo associada a uma corrente. Embora isto não dê indicações de velocidade ou direção, pode constituir uma informação de valor para o navegante.

NOÇÕES DE METEOROLOGIA PARA NAVEGANTES

45.1 A ATMOSFERA. CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA

a. A ATMOSFERA: SUA COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA

Os fenômenos meteorológicos ocorrem na atmosfera. Para compreendê-los, é necessário conhecer a composição e a estrutura da atmosfera.

Em média, o ar atmosférico, ao nível do mar, é composto dos seguintes elementos (ar seco):

Nitrogênio	78,08%	} 99,99%
Oxigênio	20,95%	
Argônio	0,93%	
Dióxido de carbono (CO ²)	0,03%	
Neônio	0,0018%	
Hélio	0,000524%	
Criptônio	0,0001%	
Hidrogênio	0,00005%	
Xenônio	0,0000087%	
Ozônio	0 a 0,000007% (aumentando com a altitude)	
Radônio	6 x 10 ⁻¹⁸ % (diminuindo com a altitude)	

Além disso, o ar atmosférico contém, também:

- Vapor-d'água; e
- impurezas.

Embora o nitrogênio represente a maior parcela, a quantidade de vapor-d'água é mais importante para a meteorologia. As impurezas, representadas por poeiras, fumaça, sal marinho e detritos em geral, desempenham, também, importante papel na formação de fenômenos meteorológicos, facilitando a condensação do ar atmosférico. São denominadas “núcleos de condensação”.

Quanto à estrutura, a atmosfera pode ser dividida nas seguintes camadas:

- Troposfera ou baixa atmosfera: a temperatura decresce com o aumento de altitude; em média, 1°C/150m de altitude;
- estratosfera: temperatura praticamente constante;
- mesosfera: comportamento irregular da temperatura, aumentando, de maneira geral, com a altitude; e
- termosfera: temperatura aumenta com a altitude.

É na **troposfera**, também denominada baixa atmosfera, que ocorre a grande maioria dos fenômenos meteorológicos, em decorrência de:

- Alta porcentagem de vapor-d'água;
- existência de impurezas (núcleos de condensação); e
- maior variação da temperatura.

A faixa que separa a troposfera da estratosfera denomina-se tropopausa. O estudo dessa região é de grande importância para a aviação, em virtude de estar associada à existência de ventos muito fortes, denominados **correntes de jato**.

A espessura da troposfera e, conseqüentemente, a altitude da tropopausa variam com a Latitude e com as estações do ano. Em média, consideram-se os seguintes valores:

- No equador: 16.500 m (54.000 pés); e
- nos pólos: 8.500 m (28.000 pés).

b. AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DESIGUAL E PERIÓDICO DA SUPERFÍCIE DA TERRA E DA ATMOSFERA

I. RADIAÇÃO E CONVECÇÃO

– RADIAÇÃO

A razão de iniciar o estudo de meteorologia marinha pela **radiação solar** é evidenciar a extraordinária importância da **fonte de energia** responsável pela ocorrência dos fenômenos meteorológicos e oceanográficos.

Radiação solar é o processo pelo qual a energia solar é propagada através do espaço, em decorrência das variações em seus campos elétrico e magnético. A energia irradiada pelo Sol é a maior responsável pela formação dos fenômenos meteorológicos.

A radiação solar, em linhas gerais, é feita da seguinte maneira:

Da quantidade total de energia radiante (ondas curtas) que alcança a atmosfera terrestre, uma grande parcela é refletida, ainda sob a forma de ondas curtas, para o espaço e, da outra parcela:

- Uma parte da energia irradiada é absorvida diretamente pela atmosfera; e
- a outra parte da energia irradiada passa pela atmosfera e é absorvida pela superfície da Terra, causando-lhe substancial aumento da temperatura. Dessa parte, a Terra reflete uma certa quantidade, da qual uma porção é novamente absorvida pela atmosfera e a outra encaminha-se para o espaço. No fim da tarde, a energia acumulada pela Terra atingirá a sua máxima diária, tendo-se, em consequência, uma maior quantidade de energia sendo refletida por ela. Se, nessa ocasião, o céu estiver encoberto por nuvens, uma parte dessa energia refletida será absorvida pela atmosfera e a outra retornará à Terra, ao invés de seguir para o espaço. Esta é a causa de serem as noites de céu encoberto mais quentes do que as de céu limpo.

As quantidades de energia calorífica a serem absorvidas pelos diferentes tipos de superfícies dependerão da sua composição. Assim, sendo o calor específico da água três vezes maior que o da terra, uma massa de água para se elevar da temperatura **T** necessita receber uma quantidade de calor três vezes maior do que aquela suficiente para elevar uma massa correspondente de terra à mesma temperatura. Da mesma forma, as superfícies secas se aquecem e se resfriam mais rapidamente do que as úmidas. Por exemplo, praias arenosas e pistas pavimentadas se aquecem mais durante o dia e se resfriam mais à noite do que uma floresta e um pântano.

Então, dependendo do tipo de superfície observa-se grande variação na relação entre a quantidade de radiação solar refletida e a quantidade recebida pela superfície. Essa relação denomina-se **albedo**.

– CONVECÇÃO

É o movimento vertical do ar atmosférico, tendo, como consequência imediata, a transferência de suas principais propriedades, isto é, uma distribuição de temperatura e umidade entre os diversos níveis de altitude. Tal conceito não deve ser confundido com o de advecção, que significa a transferência de algumas propriedades atmosféricas em decorrência de um movimento horizontal do ar (vento).

A convecção pela radiação solar é provocada pelo maior aquecimento do ar próximo à superfície da Terra (por condução e maior absorção da energia refletida pela Terra) do que o ar em níveis superiores, e pelo aquecimento desigual de porções da superfície terrestre. Assim, durante o processo de aquecimento diurno da superfície, uma parcela de ar que se encontra imediatamente sobre uma certa região torna-se mais aquecida do que a parte que se localiza sobre regiões vizinhas, menos secas. Como a parcela de ar mais aquecido torna-se mais leve (menos denso) que o ar superior, ela sobe para níveis mais elevados e, para o espaço que ocupava, é sugado (por diferença de pressão) o ar mais frio, que se encontra sobre uma região vizinha mais úmida. Ao subir, o ar fica, normalmente, sujeito a menores temperaturas. A consequência é a condensação do vapor-d'água, ou o regresso a níveis mais baixos, em virtude de ter se tornado mais frio e, portanto, mais pesado (denso) que o ar de regiões vizinhas.

II. INFLUÊNCIA DOS MOVIMENTOS DE ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO DA TERRA

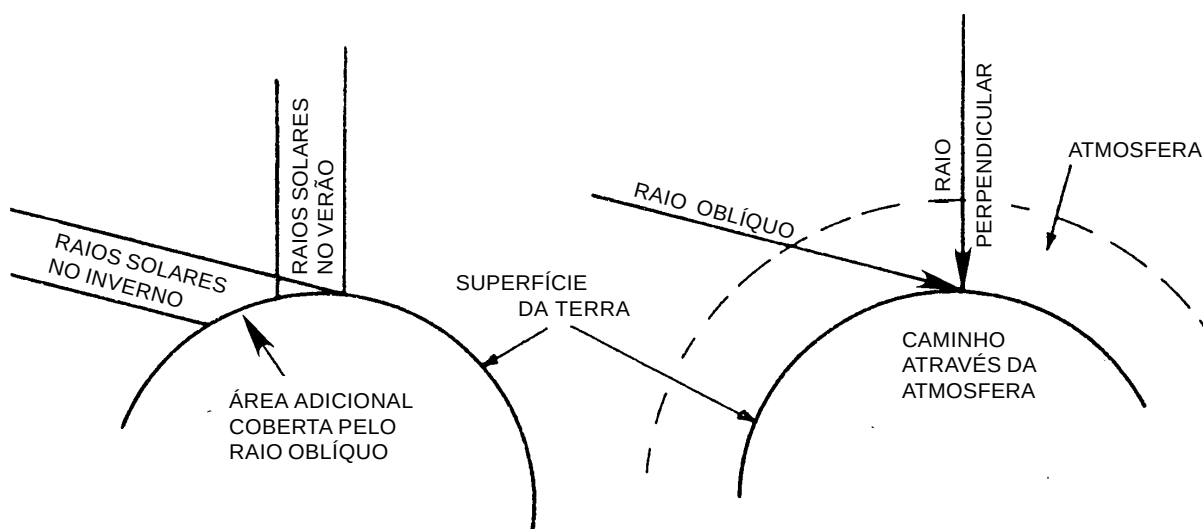
Dois importantes fatores responsáveis pelos fenômenos meteorológicos e climáticos são:

- (1) A rotação diária da Terra em torno do seu eixo; e
- (2) o movimento de translação (ou revolução) anual da Terra em torno do Sol.

O aquecimento e resfriamento diário resulta da rotação da Terra em torno do seu eixo. Conforme a Terra gira, o lado voltado para o Sol é aquecido; quando a noite chega, esta parte resfria, geralmente alcançando a temperatura mínima um pouco antes do nascer do Sol.

Os efeitos devido à revolução anual em torno do Sol são modificados pela inclinação do eixo da Terra. As áreas sobre as quais incidem raios diretos ou perpendiculares do Sol recebem mais calor do que aquelas sobre as quais os raios solares incidem inclinados, conforme mostrado na figura 45.1. No verão, o Sol alcança uma altura mais elevada no céu, seus raios incidem mais na vertical (na zona tropical chegam a incidir perpendicularmente) e, portanto, de uma forma mais concentrada (ver a figura 45.1). Além disso, como o Sol permanece mais tempo acima do horizonte, é transmitido calor à Terra (por absorção) por um período maior do que ela perde calor (por radiação). Como resultado, as temperaturas são mais elevadas.

Figura 45.1 – Variação da Energia Solar Recebida pela Terra



Por outro lado, no inverno as alturas atingidas pelo Sol são mais baixas, seus raios incidem mais inclinados, de uma forma menos concentrada, isto é, a mesma quantidade de raios solares cobre uma área maior da superfície da Terra, como também se pode ver na figura 45.1. Além disso, os raios inclinados atravessam um caminho maior na atmosfera (ver a figura 45.1), que absorve, reflete e dispersa a energia do Sol; assim, menos energia alcança a superfície da Terra e a baixa atmosfera. Ademais, como a permanência do Sol acima do horizonte diminui, a Terra perde mais calor por radiação, do que ganha por absorção. Se o eixo da Terra fosse perpendicular ao plano da sua órbita, não existiriam diferentes estações ao longo do ano, havendo, em vez disso, um clima uniforme, muito quente no equador (onde os raios do Sol incidiriam sempre perpendicularmente) e muito frio nos pólos e nas altas Latitudes (onde os raios solares incidiriam sempre muito inclinados).

O **ângulo de incidência** dos raios solares também varia ao longo do dia, devido ao movimento de rotação da Terra.

A diferença de inclinação dos raios solares também é responsável pela diferença de calor durante o dia. Às 0800 horas, quando o Sol está inclinado sobre o horizonte, seus

raios percorrerão uma extensão maior na atmosfera e sua energia se distribuirá por uma área muito maior do que ao meio-dia, quando o Sol está a pino e seus raios percorrem uma trajetória menor na atmosfera, além de concentrarem sua energia em uma área menor.

III. AQUECIMENTO DESIGUAL DE MASSAS TERRESTRES E DE MASSAS DE ÁGUA

Um terceiro fator, constituído pelas diferentes reações ao calor das massas terrestres e massas de água, contribui para as variações de macroescala no aquecimento e resfriamento da superfície da Terra.

As áreas terrestres aquecem-se e resfriam-se mais rapidamente que as massas de água. Durante a noite, a água conserva calor, enquanto a terra perde seu calor rapidamente para a atmosfera. Esta diferença de comportamento entre terra e água também influencia as temperaturas sazonais. No inverno, os climas marítimos são menos frios que os climas continentais de mesma Latitude; no verão, os climas marítimos são mais frescos que os continentais.

IV. AQUECIMENTO DA ATMOSFERA

Uma vez aquecida, a Terra passa a funcionar como um irradiador de calor. O ar, que era quase transparente às irradiações de ondas curtas do Sol, absorve quase que totalmente as irradiações de ondas longas da Terra, aquecendo-se gradativamente, de baixo para cima.

A transferência de calor da Terra para a atmosfera se faz por 4 processos:

– **Radiação:** em que a Terra irradia calor, sob a forma de ondas eletromagnéticas, e a atmosfera absorve;

– **Condução:** em que a camada de ar em contacto com o solo conduz calor para as camadas superiores;

– **Convecção:** em que as camadas mais baixas da atmosfera, se aquecendo, tornam-se mais leves, tendendo a subir, conduzindo calor para as camadas superiores; e

– **Advecção:** que é a transferência horizontal de calor de região para região, por meio dos ventos.

Assim como a superfície da Terra, a atmosfera também experimenta um aquecimento desigual. As principais causas da variação do aquecimento da atmosfera são:

– **Incidência do raio solar:** como vimos, o ângulo de incidência e a quantidade de raios solares, em um mesmo lugar, variam durante o dia e com a estação do ano, em virtude dos movimentos de rotação e translação da Terra e da inclinação do eixo da Terra com relação à sua órbita. Com isso, varia, também, a quantidade de calor transmitida à atmosfera (pelo Sol e pelos mecanismos de troca de calor com a Terra). Além disso, quanto maior a Latitude, menor o ângulo de incidência dos raios solares e, portanto, menor a temperatura. Isto também explica o aquecimento desigual da atmosfera em diferentes locais;

– **Cobertura de nuvens:** as nuvens dificultam que a energia solar alcance a Terra, diminuindo o seu aquecimento e, por conseguinte, o aquecimento da atmosfera; por isto, nos dias em que o céu está encoberto, o ar tende a ser mais frio. No entanto, as

nuvens também absorvem uma parte da energia refletida pela Terra; esta é a causa de serem as noites de céu encoberto menos frias do que as de céu limpo; e

– **Natureza do solo:** como vimos, a natureza do solo é responsável pela quantidade de energia absorvida pela Terra, pela rapidez com que a Terra se aquece e se resfria, e pela quantidade de calor que a Terra irradia. Assim, a natureza do solo é, também, um fator preponderante na variação do aquecimento da atmosfera.

c. CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA; OS GRANDES SISTEMAS DE VENTO

A energia da **radiação solar** recebida pela Terra é absorvida de forma diferenciada pelas regiões tropicais, pelas áreas temperadas e pelas altas latitudes. A região tropical absorve mais energia do que emite, ficando com um saldo positivo, enquanto as áreas polares absorvem menos energia do que emitem, ficando com saldo negativo. A busca do equilíbrio térmico origina e desencadeia a **circulação geral da atmosfera**, que transporta calor da região tropical para as áreas de médias e altas latitudes.

Essa circulação é de grande escala ou planetária, diferindo das circulações regionais (monções), das circulações dos sistemas sinóticos (@ 1.000 km) e dos sistemas locais.

O aquecimento desigual da superfície da Terra e da atmosfera estabelece a grande **circulação atmosférica**, ascendente pela parte aquecida e descendente pelos lados mais frios. Os **grandes sistemas de vento** daí resultantes são mostrados na figura 45.2.

O ar fortemente aquecido nas **regiões equatoriais** torna-se mais leve e ascende, criando na zona tórrida um cinturão de baixas pressões atmosféricas, denominado **Zona de Convergência Intertropical**, ou **ITCZ** (“intertropical convergence zone”), para onde flui na superfície o ar, tanto do Hemisfério Norte como do Hemisfério Sul. Estes fluxos, afetados pelo Efeito de Coriolis, que causa um desvio para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul, constituem os **ventos alísios** (Alísios de NE no Hemisfério Norte e Alísios de SE no Hemisfério Sul), representados na figura 45.2.

Na **faixa equatorial de baixas pressões**, os ventos apresentam-se normalmente fracos e variáveis, com calmarias freqüentes, possuindo, porém, uma deriva suave e lenta de Leste para Oeste. A faixa inteira é chamada **doldrums**, mas este termo foi, originalmente, aplicado às áreas oceânicas próximas ao equador, onde os navios de vela muitas vezes se viam às voltas com as calmarias. A zona de calmas equatoriais é, então, caracterizada por calmarias ou ventos fracos e variáveis, trovoadas e chuvas, fortes e freqüentes, durante todo o ano.

Os **ventos alísios**, por sua vez, são constantes e moderados, soprando da faixa de pressões altas das Latitudes subtropicais na direção do equador (região dos **doldrums**). Os alísios sopram com mais força no inverno dos respectivos hemisférios (em dezembro no Hemisfério Norte e em junho no Hemisfério Sul). Quando são mais fortes, aproximam-se mais das direções dos pólos (ou seja, sopram do N no Hemisfério Norte e do S no Hemisfério Sul); sendo fracos, sopram mais do Leste.

A zona dos ventos alísios, em cada hemisfério, está compreendida, em média, entre a zona de calmas equatoriais e o paralelo de 30°.

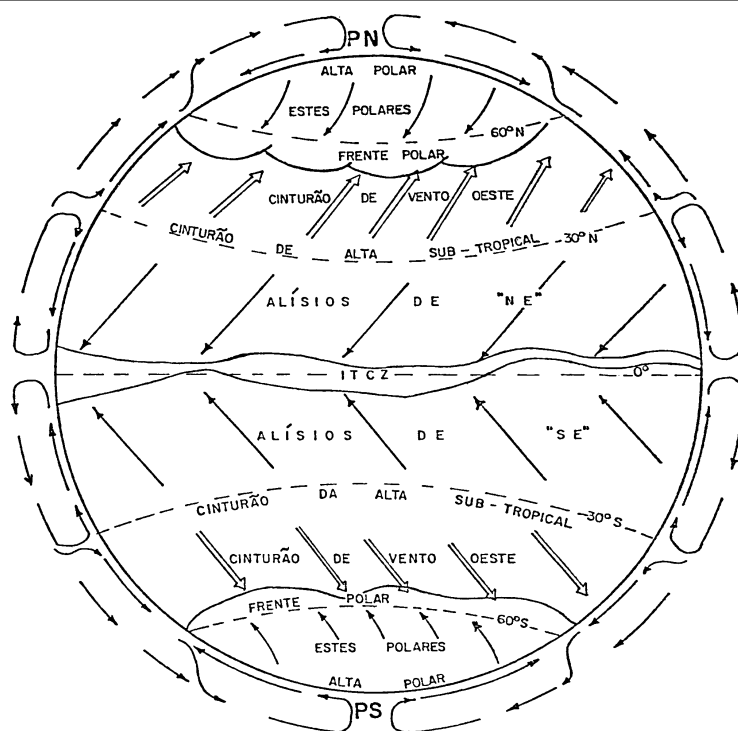
Por cima dos **ventos alísios**, nas altas camadas atmosféricas, sopram em sentido contrário os chamados **contra-alísios**, mantendo-se, assim, a circulação entre as zonas tropicais e subtropicais e a zona equatorial.

Então, o ar aquecido na zona tórrida desloca-se em altitude para regiões mais afastadas do Equador e passa a resfriar-se, com aumento da densidade. Na altura das Latitudes 30° N e 30° S, o aumento da densidade é tal que o ar mergulha, originando, nessas regiões, zonas permanentes de altas pressões atmosféricas, denominadas **Cinturões de Alta Subtropical**. Dessas zonas de alta pressão à superfície, o ar flui tanto para a zona equatorial (ventos alísios), como para zonas de baixas pressões situadas em Latitudes mais altas. Novamente em virtude do Efeito de Coriolis, causando um desvio para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul, os ventos resultantes em ambos os hemisférios sopram da direção geral Oeste (W), sendo as áreas em que atuam, então, denominadas **Cinturão de Vento Oeste**, ou **Oestes Predominantes** (figura 45.2).

Assim, os ventos que sopram dos lados polares das faixas subtropicais de pressões altas, provenientes da circulação anticiclônica em torno dos centros de alta pressão situados nas Latitudes de 30° N e 30° S, se defletem à medida que se deslocam para Latitudes mais elevadas, tornando-se ventos de Sudoeste nas Latitudes temperadas do Hemisfério Norte e ventos de Noroeste, ou Oeste, nas Latitudes temperadas do Hemisfério Sul. São os chamados **ventos predominantes de Oeste**. Começam em torno das Latitudes 35°, em ambos os hemisférios, e se estendem até as baixas subpolares, nas proximidades dos círculos polares. Perto da superfície eles são submetidos às interrupções causadas pelas grandes perturbações atmosféricas e pelos ventos irregulares e intermitentes que sopram de todas as direções; porém, tendem sempre a manter a direção predominante de Oeste. São, por isso, muitas vezes, chamados de **ventos tempestuosos de Oeste**. Persistem o ano todo, embora sejam mais fortes no inverno, principalmente no Hemisfério Norte, sobre o Atlântico Norte e Pacífico Norte. As áreas entre as Latitudes 40° S e 60° S situam-se quase que totalmente sobre os oceanos, e os ventos de Oeste que aí ocorrem são fortes e persistentes o ano todo. A região é denominada pelos navegantes de Latitudes tormentosas.

Os pólos constituem regiões de altas pressões atmosféricas (Altas Polares), de onde flui o ar para regiões menos frias. Ainda por causa da Força de Coriolis, os ventos que sopram dos pólos para a região de baixas pressões na altura das Latitudes de 60° N e 60° S procedem da direção geral Leste (E), sendo, então, denominados **Estes Polares** (ver a figura 45.2). A zona de baixa pressão para a qual fluem é conhecida como **frente polar**.

Figura 45.2 – Circulação Básica da Atmosfera e os Grandes Sistemas de Vento (Ventos Gerais)



Os ventos predominantes de Oeste, relativamente aquecidos, encontram os ventos frios polares de Leste, ou o ar frio dos continentes, ao longo de uma zona irregular limítrofe que recebe a denominação de **frente polar**. A **frente polar** é o limite, à superfície, do ar frio que avança na direção de Latitudes mais aquecidas.

Como vimos no Volume I (Capítulo 10), a ação desses **grandes sistemas de vento** sobre os oceanos gera uma circulação predominantemente superficial e eminentemente horizontal, produzindo **correntes oceânicas** cujo conhecimento é de grande importância para a navegação. Além disso, a compreensão da circulação geral da atmosfera é, também, essencial no estudo da meteorologia.

45.2 ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

As condições de tempo podem ser descritas em termos de 7 elementos meteorológicos:

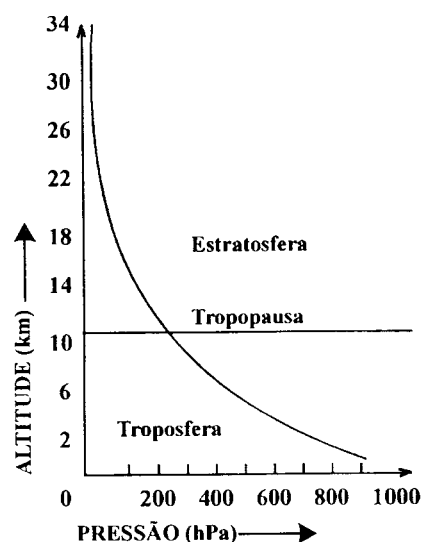
- Pressão;
- temperatura;
- umidade;
- ventos;
- nuvens;
- visibilidade; e
- precipitação.

a. PRESSÃO

– MEDIDA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Pressão atmosférica é a força exercida pelo peso da atmosfera sobre uma área unitária. Assim, a pressão a uma altitude especificada é o peso, por unidade de área, da atmosfera acima dessa altitude. Logo, a pressão decresce à medida que a altitude aumenta, pois o peso da atmosfera remanescente diminui continuamente (figura 45.2a).

Figura 45.2a – Variação Vertical da Pressão Atmosférica



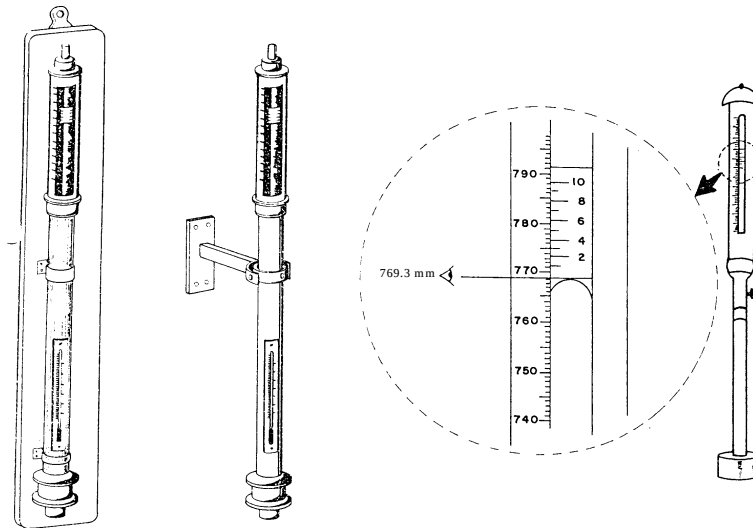
Como a pressão atmosférica diminui com a altitude, uma corrente de ar ascendente terá uma expansão contínua enquanto se eleva. Essa expansão é a causa principal do seu resfriamento até a temperatura do ponto de orvalho e a subsequente formação de nebulosidade, como veremos adiante.

Os instrumentos utilizados na medição da pressão atmosférica são os **barômetros**, que podem ser de dois tipos: **barômetro de mercúrio** ou **barômetro aneróide**.

O **barômetro de mercúrio** possui um tubo vertical de vidro contendo uma coluna

de mercúrio. Mudanças na pressão atmosférica são indicadas por mudanças na altura da coluna de mercúrio. Então, a altura da coluna de mercúrio, neste instrumento, exprimirá o valor da pressão (figura 45.3). Os **barômetros de mercúrio** não são convenientes para uso a bordo, em virtude de sua fragilidade, tamanho e susceptibilidade a erros devidos aos movimentos do navio. Alguns navios, entretanto, dispõem de um **barômetro de mercúrio**, embora este instrumento não seja, normalmente, utilizado para consultas e leituras rotineiras, servindo apenas para aferições mais freqüentes e controle do **barômetro aneróide** (visto ser de alta precisão).

Figura 45.3 – Barômetros de Mercúrio. Leitura Correta da Pressão Atmosférica



Normalmente, a pressão atmosférica é medida a bordo por meio de **barômetros aneróides** (figura 45.4), localizados no passadiço, no camarim de navegação ou em suas proximidades. Em um **barômetro aneróide**, o elemento sensível consta de uma série de câmaras metálicas ocas, que se deformam pela ação da pressão. Esta deformação transmite-se a um ponteiro, que indica o valor da pressão em um mostrador graduado. Os **barômetros aneróides** são instrumentos compactos, resistentes e bastante convenientes para uso a bordo, embora não tenham uma precisão tão alta como os **barômetros de mercúrio**.

Figura 45.4 – Barômetro Aneróide



A maioria dos barômetros existentes a bordo apresenta seus mostradores graduados em **milibares** (*). Entretanto, não é raro encontrar-se instrumentos graduados em **milímetros** ou **polegadas de mercúrio**. A conversão recíproca das unidades de medida de pressão é feita por meio da Tábua X do Apêndice 1.

EXEMPLOS:

1. Converter 29,80 pol Hg em milímetros e milibares.

Resposta: Pela Tábua X (Apêndice 1):

$$29,80 \text{ pol Hg} = 756,8 \text{ mm} = 1009 \text{ mb}$$

2. Converter 758,3 mm Hg em polegadas e milibares.

Resposta: Pela Tábua X (Apêndice 1):

$$758,3 \text{ mm Hg} = 29,85 \text{ pol} = 1011 \text{ mb}$$

3. Converter 1016 mb em mm e pol Hg

Resposta: Pela Tábua X (Apêndice 1):

$$1016 \text{ mb} = 30,0 \text{ pol Hg} = 762,1 \text{ mm}$$

Para maior exatidão das previsões de tempo efetuadas a bordo, para preenchimento das mensagens meteorológicas e para comparação de medidas de pressão realizadas em locais diferentes (que são feitas em diferentes altitudes), a indicação da pressão, lida no **barômetro aneróide**, deve ser reduzida ao nível do mar. Para isto, aplica-se-lhe uma **correção aditiva**, retirada da Tábua XIII, apresentada no Apêndice 1, usando-se a tabela superior se o barômetro for graduado em milibares (hectopascals) e a tabela inferior se o barômetro for graduado em milímetros. Em ambas, os argumentos de entrada são a **altura do barômetro sobre o nível do mar** (em metros) e a **temperatura externa** (em graus centígrados).

EXEMPLOS:

1. Leitura do barômetro aneróide: 1008,0 mb; altitude do passadiço do navio (onde está o barômetro): 10 m; temperatura externa: 30°C.

Correção para redução ao nível do mar (Tábua XIII): + 1,2 mb

Pressão atmosférica reduzida ao nível do mar: 1009,2 mb

2. Leitura do barômetro aneróide: 755,5 mm; altitude do passadiço do navio (onde está o barômetro): 10 m; temperatura externa: 10°C.

Correção para redução ao nível do mar (Tábua XIII): + 0,9 mm

Pressão atmosférica reduzida ao nível do mar: 756,4 mm

As leituras do **barômetro de mercúrio** têm que ser referidas às condições-padrão, ou seja, à temperatura de 0°C, à Latitude de 45° e ao nível do mar. Assim sendo, além da correção para a altitude (redução ao nível do mar) aplicada às leituras dos **barômetros aneróides**, as pressões lidas nos **barômetros de mercúrio** também têm que ser corrigidas do efeito da temperatura (para referir a pressão à temperatura de 0°C) e do efeito da Latitude (o que corresponde a reduzir a pressão atmosférica à gravidade normal). Os valores dessas correções são obtidos em tabelas reproduzidas na publicação DG3 – Manual do Observador Meteorológico, editada pela DHN.

(*) A partir de 1982, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomendou uma transição gradual do termo **milibar (mb)** para **hectopascal (hPa)**, que são unidades equivalentes, de modo que, com o tempo, o segundo termo passe a ser usado como unidade de **pressão atmosférica**.

As indicações do **barômetro aneróide** estão sujeitas a erros instrumentais, que são determinados pela aferição do instrumento ou pela comparação com o **barômetro de mercúrio** de controle. A aferição do **barômetro aneróide** fornece a correção instrumental a ser aplicada às leituras feitas. Os **barômetros aneróides** dos navios da MB devem ser anualmente encaminhados à Base de Hidrografia da Marinha em Niterói (BHMN), para aferição. Além disso, devem ser frequentemente comparados com uma pressão padrão, obtida com **barômetro de mercúrio**. O cartão de aferição do barômetro, com os valores da correção instrumental, deve ser afixado ao instrumento.

O **barômetro aneróide** deve ser instalado numa antepara do passadiço, ou camarim de navegação, ficando protegido dos raios solares e afastado das fontes artificiais de calor (canalizações de vapor ou água quente, chaminés, lâmpadas, etc.). Ademais, é importante que o instrumento esteja o mais livre possível de choques ou vibrações.

Para a leitura correta do **barômetro aneróide**, o observador coloca-se bem à frente do instrumento, para evitar erros de paralaxe. Bate, então, com o dedo levemente no mostrador ou caixa do barômetro (para certificar-se que o ponteiro não está travado) e efetua a leitura da pressão.

Figura 45.5 – Barógrafo



O **barômetro aneróide** pode converter-se num equipamento registrador, denominado **barógrafo** (figura 45.5), que registra continuamente os valores da pressão atmosférica em um papel graduado, fixado a um tambor, que gira acionado por um mecanismo de relojoaria, normalmente dotado de corda para oito dias. O registro do barógrafo é denominado de **barograma** e tem a vantagem de indicar com clareza a **tendência barométrica**, que é importante para o diagnóstico e a previsão do tempo.

O **altímetro** é um barômetro aneróide que, ao invés de indicar a pressão, indica a **altitude**. Sendo a pressão atmosférica a medida de peso por unidade de área que o ar exerce sobre a superfície da Terra, torna-se claro, como vimos, que a pressão diminui com o aumento da altitude. Normalmente, a pressão atmosférica varia cerca de 12 milibares (hectopascals) por cada 300 pés (@ 91 m) de altitude; assim, na atmosfera padrão a altitude corresponde à pressão medida. Neste princípio se baseiam os altímetros.

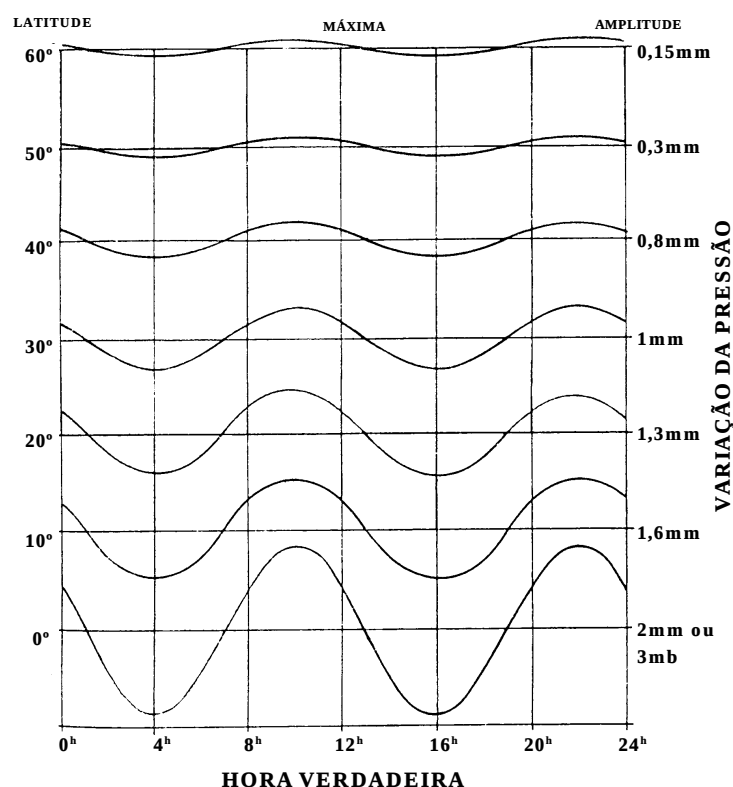
Então, um altímetro somente indicará a altitude correta na **atmosfera padrão**. Portanto, além da correção instrumental (obtida pela aferição do instrumento), a leitura do altímetro deve sofrer correções de pressão e temperatura (para referir-se à atmosfera padrão).

– VARIAÇÃO DIURNA DA PRESSÃO

O valor da **pressão atmosférica normal (padrão)** ao nível do mar é de 1.013,25 mb (hPa), o que corresponde a 760 mm ou 29,92126 pol Hg.

Em todos os pontos da superfície da Terra, a pressão atmosférica, especialmente em condições de bom tempo, varia de modo regular, apresentando uma dupla oscilação diária, com **máximos** às 10 e 22 horas verdadeiras e **mínimos** às 04 e 16 horas. Assim, o barômetro sobe desde as 04 até às 10 horas e desce das 10 às 16 horas; torna a subir, das 16 às 22 horas, para baixar, das 22 às 04 horas. Esta oscilação é perfeitamente nítida e de amplitude significativa nas regiões equatoriais e tropicais, mas imperceptível nas altas Latitudes (figura 45.6). Sua amplitude é, de certo modo, proporcional à amplitude da variação diurna da temperatura, pois decresce do equador para os pólos, diminui com o aumento da nebulosidade e é maior no interior dos continentes do que sobre os mares.

Figura 45.6 – Maré Barométrica (Variação Diurna da Pressão)



Esta variação diurna da pressão é denominada **maré barométrica**. Como vimos, as maiores **marés barométricas** ocorrem no equador, onde a amplitude atinge 3 mb. Nas regiões temperadas e em Latitudes elevadas, variações irregulares da pressão mascaram completamente a **maré barométrica**, que só será percebida nas curvas médias de pressão. Quando, nos trópicos, a **maré barométrica** não ocorre regularmente, às horas próprias, é sinal de que o tempo vai mudar.

– VARIAÇÃO ANUAL. DISTRIBUIÇÃO MÉDIA DA PRESSÃO NA SUPERFÍCIE DA TERRA

Na escala anual, por sua vez, a pressão, principalmente sobre os continentes, tende a ser maior no inverno (pois o ar frio é mais denso) e menor no verão. Esta variação anual da pressão é proporcional à variação anual da temperatura, sendo pouco significativa sobre o equador, mas ponderável nas Latitudes médias e altas.

As linhas que unem pontos da superfície da Terra de igual pressão atmosférica no mesmo instante são denominadas de **isóbaras**. Quando, sobre uma carta meteorológica, são traçadas as isóbaras, geralmente de 3 em 3, ou de 4 em 4 milibares, obtém-se um mapa de isóbaras, ou configuração isobárica. Esta representação facilita a identificação

de centros de alta pressão (ou anticiclones), depressões ou centros de baixa (ciclones), frentes, oclusões, cristas, cavados, etc. Além disso, permite a determinação do gradiente barométrico, que indica a força do vento num lugar. O exame da configuração isobárica, especialmente de mapas de isóbaras sucessivos, é de grande importância para a previsão do tempo, como veremos adiante.

Traçando as isóbaras das **pressões médias** calculadas para longos períodos de tempo, observa-se que a pressão, a despeito de suas contínuas variações, tende a se distribuir com certa regularidade sobre a superfície da Terra. Conforme vimos quando estudamos a **circulação geral da atmosfera**, em virtude do aquecimento das regiões equatoriais, forma-se aí uma **zona de baixas pressões** (ITCZ: zona de convergência intertropical), subindo o ar quente e dirigindo-se em altitude para Latitudes mais elevadas; porém, ao ultrapassar os trópicos, o ar arrefece e desce, dando lugar a uma **zona de altas pressões**, na Latitude média de 30° em ambos os hemisférios. Estas zonas de altas e baixas pressões são praticamente permanentes durante todo o ano, e originam entre elas os ventos **alísios de NE** no Hemisfério Norte e os **alísios de SE** no Hemisfério Sul. Nas Latitudes de cerca de 60° N e 60° S forma-se uma outra **zona de baixas pressões** semipermanente. Como vimos, entre as **altas subtropicais** e estas zonas de baixas pressões sopram, em ambos os hemisférios, ventos de Oeste. Tais ventos predominam entre os paralelos de 35° a 60° e são provenientes da circulação anticiclônica em torno dos centros de alta pressão situados nas Latitudes de 30° N e 30° S. Os pólos N e S são, por sua vez, regiões de altas permanentes, onde se originam os **ventos E polares**, em ambos os hemisférios.

As figuras 45.7 e 45.8 mostram, respectivamente, a distribuição geral da pressão e os ventos predominantes no período de outubro a março (verão no Hemisfério Sul) e no período de abril a setembro (inverno austral). O estudo dessas distribuições médias de pressões na superfície da Terra permite concluir o seguinte:

Figura 45.7 – Distribuição Geral da Pressão e Ventos Predominantes – Janeiro (Verão no Hemisfério Sul)

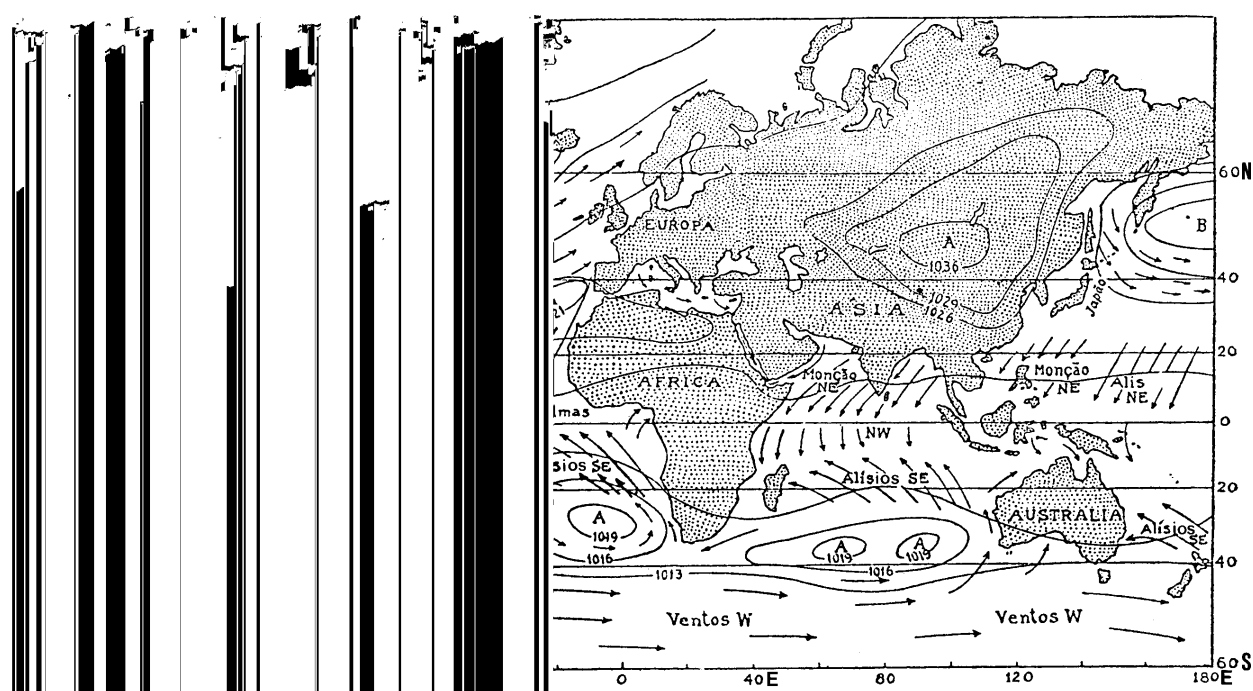
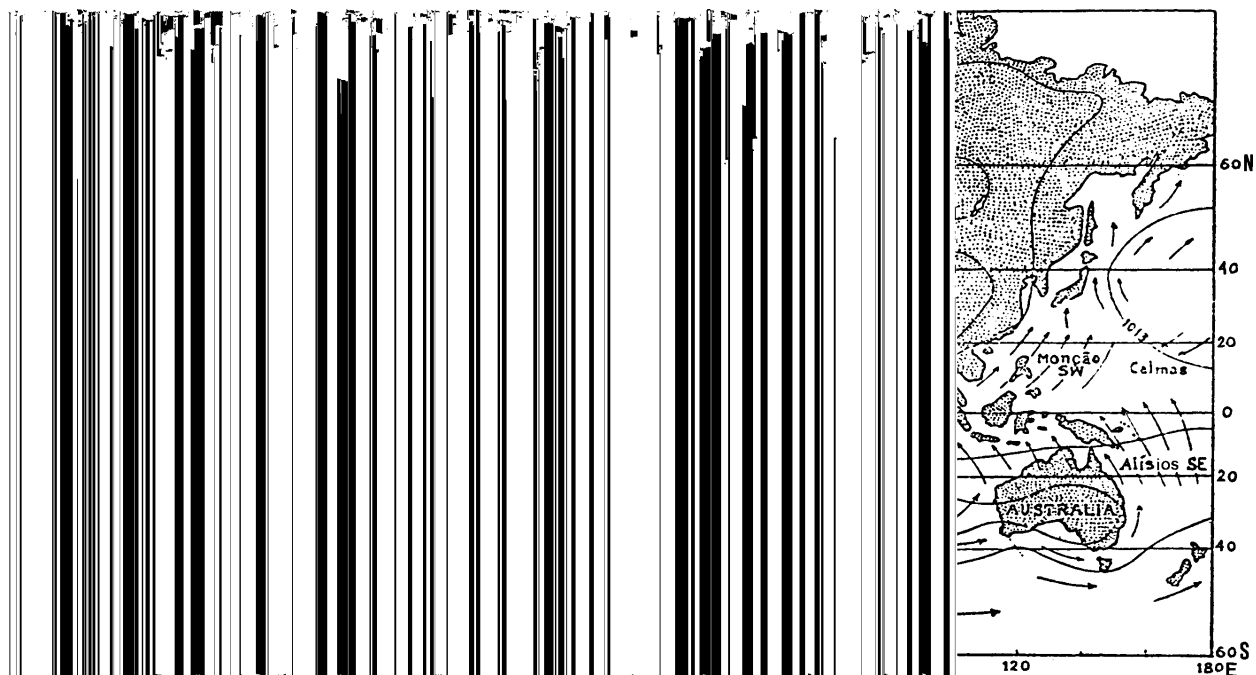


Figura 45.8 – Distribuição Geral da Pressão e Ventos Predominantes – Julho (Verão no Hemisfério Norte)

• “DOLDRUMS”

– Em janeiro, a faixa equatorial contínua de baixas pressões (ITCZ) apresenta seus centros de pressões mais baixas sobre áreas continentais do Hemisfério Sul, onde já é meio de verão. Em julho, a faixa se localiza, quase toda ela, ao norte do Equador, e as pressões baixas se estendem para o norte, sobre a América do Norte e Ásia, com mínimas no noroeste da Índia e sudoeste dos Estados Unidos (figura 45.8). Os ventos alísios de nordeste, do Hemisfério Norte, em janeiro chegam a atingir e mesmo ultrapassar o Equador, em alguns casos. Em julho, os alísios de SE do Hemisfério Sul cruzam o equador e atingem Latitudes de 10° N a 20° N. A convergência desses ventos na região dos *doldrums* e os movimentos verticais resultantes causam chuvas fortes e frequentes durante todo o ano na região da ITCZ.

• FAIXAS DE ALTAS PRESSÕES

– Em janeiro, a faixa subtropical de altas pressões se apresenta, praticamente, contínua no Hemisfério Norte, próximo à Latitude 30°, com pressões um pouco mais elevadas nas áreas lestes do Atlântico e Pacífico, e menos elevadas nas áreas oeste dos mesmos oceanos.

– No Hemisfério Sul, onde a Terra se apresenta aquecida em janeiro, há três máximas sobre as regiões relativamente frias do oceano, devido ao resfriamento anormal da água por efeito de correntes frias que se deslocam para o norte.

– Em julho, no Hemisfério Norte, a faixa de altas pressões é quebrada pelo desenvolvimento de baixas pressões sobre as regiões quentes do interior do sudoeste dos Estados Unidos e sudoeste da Ásia, porém, há ocorrência de células de altas pressões bem desenvolvidas sobre as áreas oceânicas frias. Essas duas células são de grande importância, pois afetam o tempo em todas as regiões temperadas do Hemisfério Norte. Ao sul do equador, embora se observem pressões mais elevadas sobre as áreas continentais, os centros de pressões mais altas permanecem sobre as áreas marítimas, como acontece em janeiro. A pequena proporção de terras nessas Latitudes não é bastante para inverter a distribuição de pressões, como no Hemisfério Norte.

• BAIXAS SUBPOLARES

– Entre os centros subtropicais de pressões altas e as **baixas subpolares** sopram, como vimos, os **ventos predominantes de Oeste**, que começam em torno da Latitude 35°, em ambos os hemisférios, e se estendem até as baixas subpolares, nas proximidades dos círculos polares. Tais ventos persistem durante todo o ano, embora sejam mais fortes no inverno, principalmente no Hemisfério Norte, sobre o Atlântico Norte e Pacífico Norte.

• FRENTE POLAR

– Na região das baixas subpolares, os ventos predominantes de Oeste, relativamente aquecidos, encontram os ventos frios **polares de Leste**, ou o ar frio dos continentes, ao longo de uma zona irregular limítrofe denominada **frente polar**. A **frente polar** é o limite, à superfície, do ar frio que avança na direção de Latitudes mais aquecidas.

• ALTAS POLARES

– Os pólos, como vimos, são regiões de altas pressões. Os ventos que sopram das pressões elevadas da Antártica, e são defletidos para a esquerda, são chamados de **ventos polares de Leste**. Embora não existam ventos regulares soprando do mar em torno do Pólo Norte, há ocorrência de ventos predominantes de Leste que sopram da Groenlândia e, no inverno, dos centros gelados da Sibéria e do Canadá, que podem ser considerados como representantes de ventos polares de Leste, do Hemisfério Norte.

É importante que o navegante conheça o valor médio da pressão para a época em que cruza uma determinada região, pois a medida de um valor de pressão muito diferente da média prevista poderá ter um significado relevante para a previsão do tempo a bordo.

b. TEMPERATURA

A medida da **temperatura** é de grande importância na **meteorologia**. Esta medida é feita por meio de termômetros, graduados em graus centígrados (ou Celsius) ou em graus Fahrenheit. Ambas as escalas têm como referências o ponto de congelamento e o ponto de ebulição da água, com a temperatura de congelamento em 0°C ou 32°F, e a temperatura de ebulição em 100°C ou 212°F.

A Tábua **XI** – Conversão de Escalas Termométricas, apresentada no Apêndice 1, permite converter leituras de temperatura de graus Fahrenheit para centígrados e vice-versa, utilizando a fórmula:

$$\frac{C}{5} = \frac{(F - 32)}{9}$$

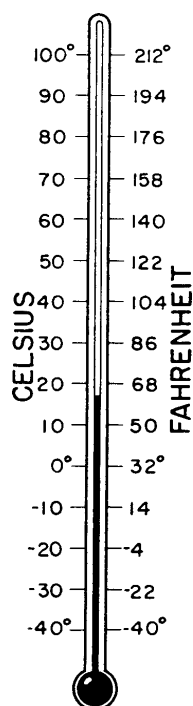
Onde: C = temperatura em graus centígrados;

F = temperatura em graus Fahrenheit.

Os termômetros medem temperaturas pela dilatação (ou contração) da substância nele empregada, que é, como sabemos, proporcional à variação da temperatura.

Toda substância reage a temperaturas diferentes (dilatando-se ou contraindo-se). Existem, no entanto, determinadas substâncias cujas variações regulares constituem um meio de melhor definir o estado calorífico de uma massa qualquer. Os termômetros são baseados, principalmente, na dilatação, contração e condutividade elétrica de certas substâncias.

Figura 45.9 – Termômetro com Escalas em Graus Celsius e Fahrenheit



Os termômetros usados a bordo utilizam como elemento sensível o mercúrio, sendo compostos por um tubo fixo de vidro, de diâmetro uniforme, graduado em escala, fechado num extremo e possuindo no outro um depósito (bulbo), conforme mostrado na figura 45.9. O depósito e uma parte do interior do tubo contêm mercúrio, ficando o resto vazio. Quando a temperatura aumenta, o mercúrio se dilata e o topo da sua coluna indica, na escala gravada no vidro, o valor da temperatura. Outros tipos de termômetro utilizados em meteorologia são:

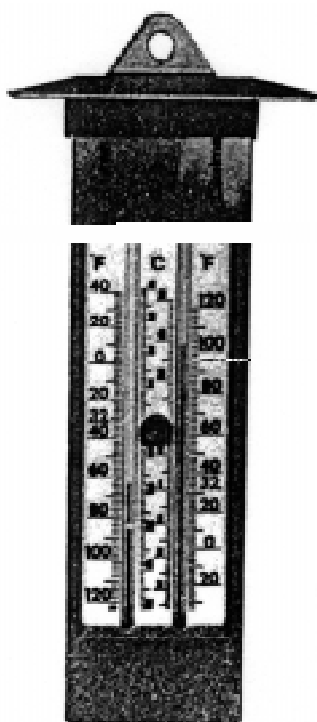
– Termômetros elétricos

Usados com mais freqüência, na meteorologia, em observações de altitude. São baseados na variação da resistência a uma corrente elétrica, quando a temperatura do condutor varia. Outros têm por base o princípio termoelétrico de que, quando um circuito elétrico for feito de dois metais diferentes e as junções não se mantiverem na mesma temperatura, haverá passagem de corrente.

– Termômetro de máxima e mínima

Mede a maior e a menor temperatura ocorrida num dado intervalo de tempo (figura 45.10).

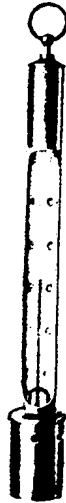
Figura 45.10 – Termômetro de Máxima e Mínima



– Termômetro de água do mar

Tem um formato especial, com uma carcaça protetora metálica que se avoluma na altura do bulbo, para tornar o instrumento mais resistente; destina-se a medir a temperatura da água do mar à superfície (figura 45.11).

Figura 45.11 – Termômetro de Água do Mar



Existem, também, os **termógrafos**, que, conforme o próprio nome indica, são instrumentos que registram todas as variações de temperatura em um gráfico, podendo-se verificar os instantes em que ocorreram as temperaturas máxima e mínima. Há vários tipos de termógrafos; todavia, todos têm o mesmo princípio básico, que consiste de um elemento sensível às variações de temperatura, um sistema de relojoaria, engrenagens, alavancas e um tambor no qual é enrolado o papel registrador.

Os termômetros e termógrafos são sensíveis às temperaturas das massas com que estão em contato direto, logo não devem sofrer influências de fatores estranhos às massas cuja temperatura se quer medir. Assim é que, para medir as condições do ar circulante livremente num local, é necessário que os instrumentos estejam protegidos de radiações (solares, terrestres, de objetos vizinhos, etc.). Nos navios, os termógrafos e termômetros devem ficar em local protegido das trepidações, dos choques e dos efeitos de fontes artificiais de calor (canalização de vapor, água quente, etc.).

Pode-se fazer, a bordo, uma verificação nos termômetros, colocando-se o bulbo num recipiente cheio de gelo fundente; nesta situação, se o termômetro estiver correto, ler-se-á, na escala, a temperatura de 0°C (ou 32°F).

Tal como a pressão, a temperatura do ar varia continuamente em um determinado local. Por convenção, a **temperatura padrão** do ar ao nível do mar é 15°C, ou 59°F.

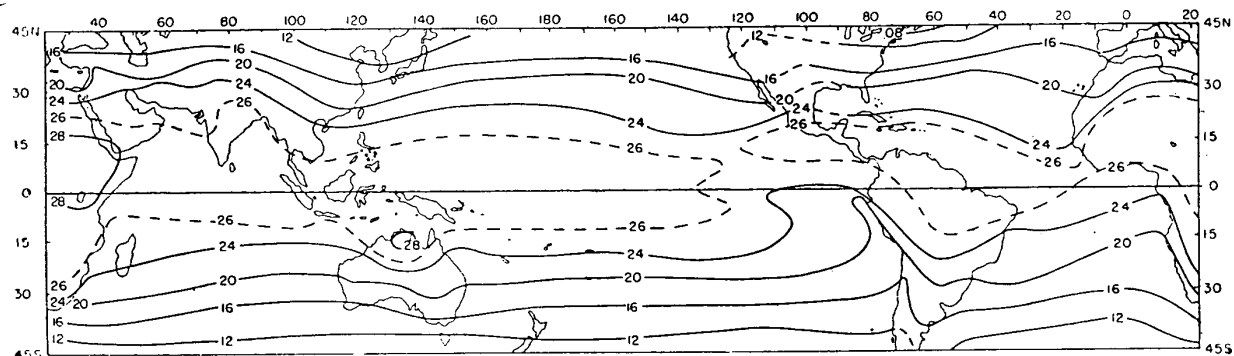
Na **troposfera** (camada inferior da atmosfera) a temperatura, normalmente, decresce com o aumento da altitude. Na **estratosfera**, todavia, mantém-se praticamente constante, passando, de maneira geral, a aumentar na **mesosfera** e, sobretudo, na **termosfera**.

A razão física para que, na **troposfera**, a temperatura do ar decresça com a altitude é que a pressão do ar varia, diminuindo à medida que a altitude aumenta, ou seja, o ar vai se expandindo com a altitude e, como consequência, sua temperatura vai diminuindo proporcionalmente.

Quando a temperatura aumenta com a altitude diz-se que há uma **inversão de temperatura**. As inversões podem ser **de superfície** e **de ar superior**. As inversões de superfície decorrem de acentuado resfriamento da superfície terrestre causado pela grande quantidade de energia calorífica irradiada para o espaço. A parcela de ar situada imediatamente acima dessa superfície ficará mais fria do que o ar em níveis mais elevados. Esse processo ocorre, normalmente, nas noites de céu limpo. As inversões de ar superior são provocadas, via de regra, pela passagem de frentes.

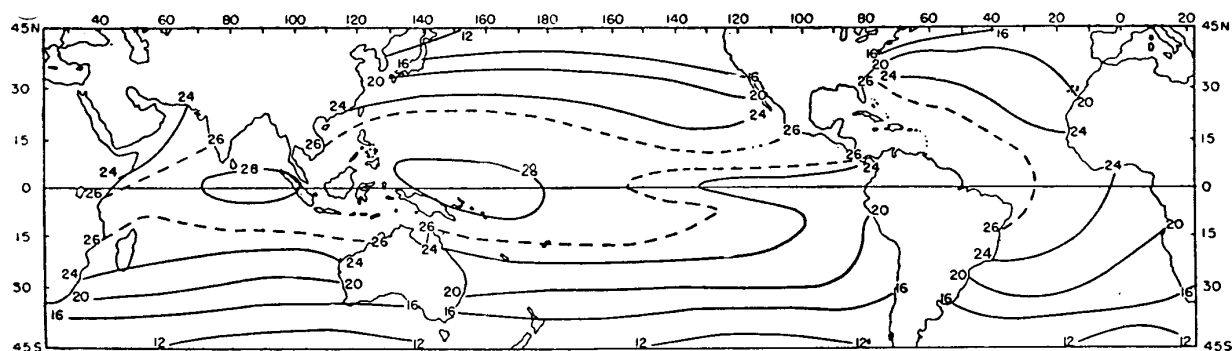
A figura 45.12 mostra um mapa da distribuição da temperatura média anual do ar à superfície. Sobre os continentes, as isotermas se curvam em direção ao pólo, formando um cavado, o que não se pode atribuir apenas à redução da temperatura ao nível do mar. As temperaturas médias continentais excedem as oceânicas; uma insolação mais forte durante as estações mais quentes compensa, e mesmo excede, qualquer anomalia das estações mais frias. Sobre os oceanos, o fato que mais se salienta é a tendência das isotermas de deslocarem-se em direção ao equador de oeste para leste. As regiões a oeste dos oceanos são mais quentes do que as de leste. Podemos, de pronto, relacionar, em termos gerais, este fato à circulação do vento. O mais forte transporte de ar pelos alísios em direção ao equador se realiza na parte leste dos oceanos; este ar, vindo das Latitudes médias, é relativamente frio.

Figura 45.12 – Isotermas Médias Anuais ao Nível do Mar (Graus Celsius)



A figura 45.13 apresenta as temperaturas médias anuais do mar à superfície e mostra uma semelhança notável entre as isotermas médias anuais do ar ao nível do mar e o campo de temperatura superficial do oceano. Esta coincidência entre os dois conjuntos é tão perfeita que diferenças superiores a 1°C entre as temperaturas do ar e do oceano são raras; é impossível traçar linhas representativas desta diferença. A maior parte dos oceanos tropicais parece ser levemente mais quente em média (aproximadamente 0,5°C) que o ar, tanto na média anual quanto nas quedas estacionais de temperatura.

Figura 45.13 – Temperaturas Médias Anuais da Superfície do Mar (Graus Celsius)



A **temperatura da superfície do mar (TSM)** quase não apresenta variação de valor durante o dia e à noite, uma vez que a energia recebida da radiação solar é em grande parte utilizada na evaporação da água da superfície do mar. Essa transformação da água superficial do oceano em vapor-d'água contribui significativamente para aumentar a umidade do ar atmosférico. Ao mesmo tempo, esse comportamento resulta numa variação muito lenta e gradual da **TSM** ao longo do ano, sendo normalmente muito pequena a variação da TSM em períodos curtos, de poucos dias, com exceção de regiões sujeitas ao fenômeno da ressurgência (afioramento de águas frias profundas).

Entretanto, o navegante pode deparar com acentuadas variações de TSM ao longo de sua derrota, devido a oscilações nos limites de grandes correntes marítimas de temperaturas distintas daquelas do oceano circundante.

A **TSM** tem muita importância na interação oceano-atmosfera, porque influencia de forma bastante significativa o resfriamento do ar, no caso de **TSM** mais fria, podendo resultar na formação de nevoeiro ou névoa. Quando a **TSM** é mais quente, pode intensificar os processos convectivos, causando temporais e, até mesmo, o desenvolvimento de tormentas e furacões (quando a TSM é superior a 27°C). A comparação entre a temperatura do ar à superfície e a TSM é de grande importância para o diagnóstico e o prognóstico do tempo.

As figuras 45.14 e 45.15 apresentam as **isotermas médias** de janeiro e de julho.

Pode-se observar que:

- (1) Em ambos os hemisférios e em qualquer estação, a temperatura tende, realmente, a diminuir do equador para os pólos;
- (2) em ambos os hemisférios, mas principalmente no Hemisfério Sul, que é mais oceânico, as **isotermas** tendem a se distribuir conforme os paralelos; entretanto, no verão, o maior aquecimento dos continentes repuxa para os pólos as **isotermas** sobre as massas terrestres; no inverno, o maior resfriamento dos continentes produz efeito inverso; note-se, ainda, que, no interior dos continentes (em particular no Hemisfério Norte), encontram-se os extremos de temperatura, tanto no verão como no inverno; e
- (3) é visível a influência da **Corrente do Golfo ("Gulf Stream")**, uma corrente quente, no aquecimento do norte da Europa e da Escandinávia.

c. UMIDADE

Na atmosfera observa-se água no seu estado gasoso, como vapor-d'água; no seu estado líquido, como gotículas de nuvens e gotas de chuvas; e no seu estado sólido, como cristais de gelo.

Umidade é um termo geral que decreve o conteúdo de vapor-d'água existente no ar atmosférico. O aquecimento ou o resfriamento da água causa sua mudança de um para outro de seus três estados: sólido, líquido e gasoso (vapor-d'água). A aplicação contínua de calor derrete o gelo, tornando-o líquido (água), que, por sua vez, evapora, transformando-se em vapor-d'água. A retirada contínua de calor do vapor-d'água causa sua condensação e a passagem para o estado líquido; a água, por seu turno, transforma-se em gelo, com o prosseguimento do processo de remoção de calor. Estas mudanças de estado são sempre acompanhadas de ganho ou perda de calor pelos ambientes próximos.

O vapor-d'água existente na atmosfera provém da evaporação das superfícies líquidas da crosta terrestre (oceanos, rios, lagos, etc.); logo, normalmente, sua quantidade diminui com a altitude.

Figura 45.14 – Isotermas de Janeiro

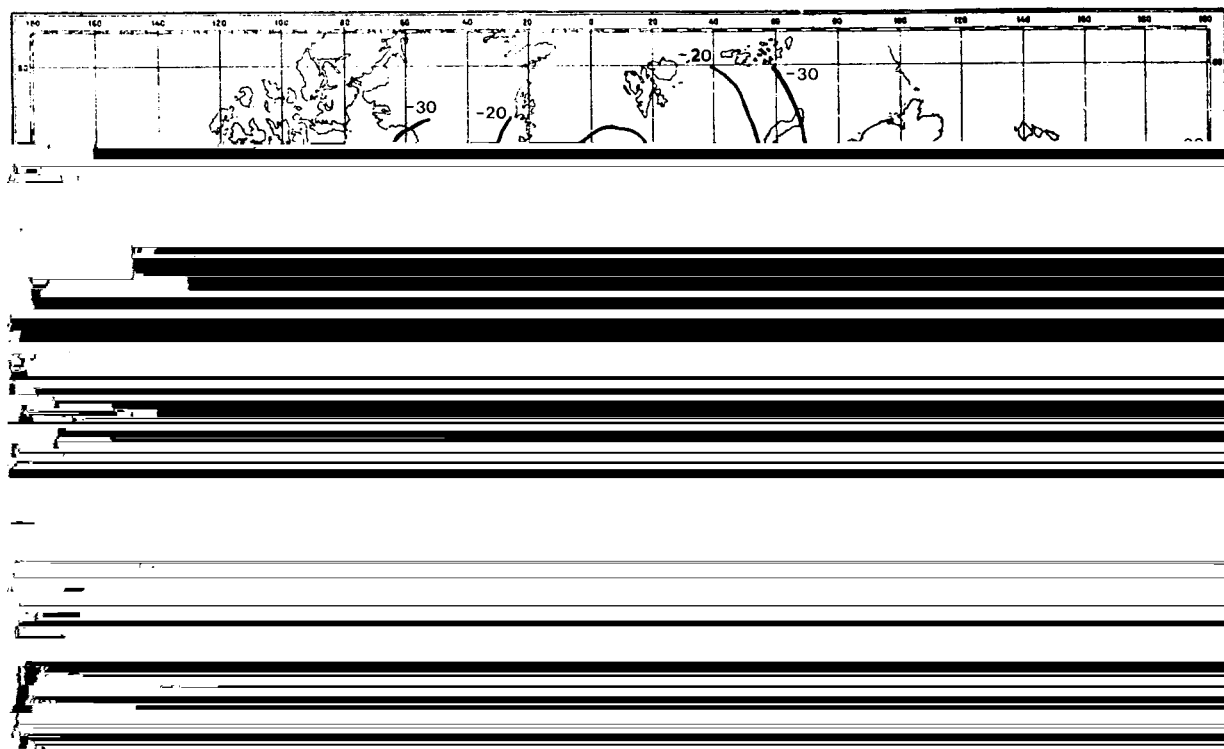
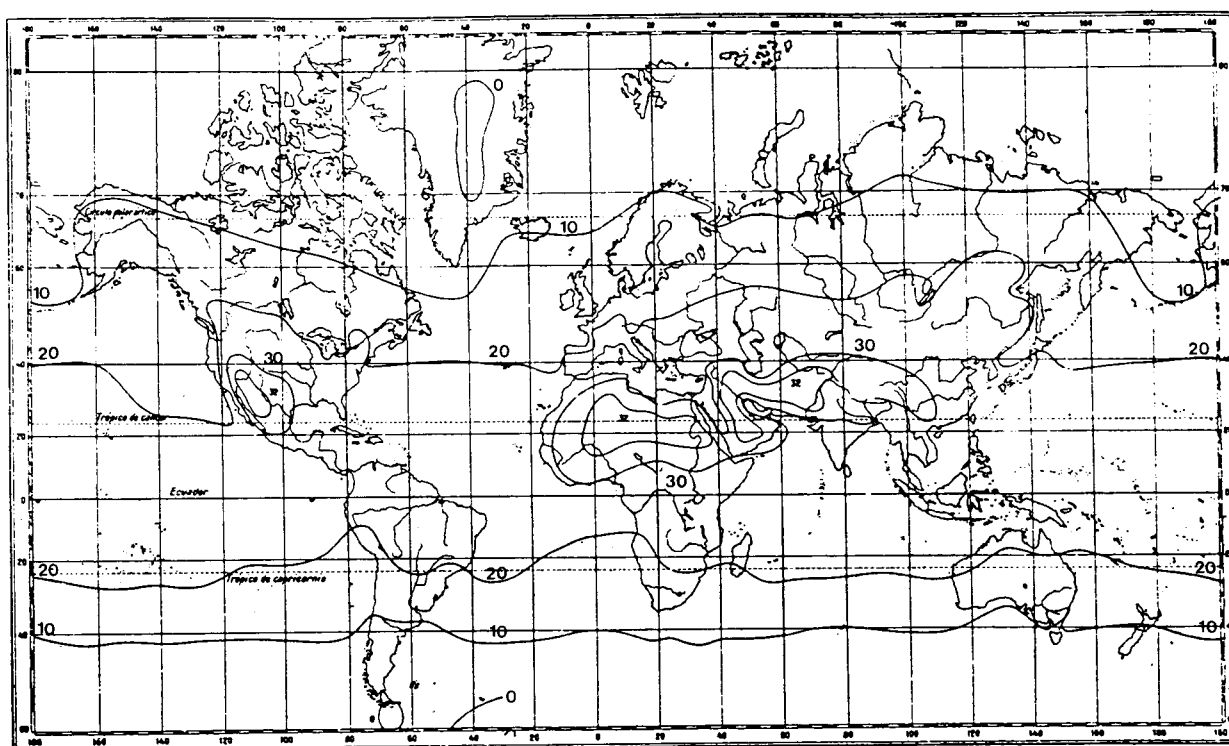


Figura 45.15 – Isotermas de Julho



A capacidade do ar atmosférico de conter **umidade** é diretamente proporcional à sua temperatura. Esta é uma das principais propriedades do ar atmosférico. Quanto maior a temperatura do ar, maior a quantidade de vapor-d'água que poderá conter. Diz-se que o ar atmosférico está **saturado** quando contém a quantidade máxima de vapor-d'água,

possível a uma dada temperatura (e pressão). Então, em temperaturas mais elevadas é necessária maior quantidade de vapor-d'água para tornar o ar saturado, ocorrendo o inverso em temperaturas mais baixas.

Embora existam outros conceitos, como umidade absoluta, umidade específica e teor de mistura, o principal modo pelo qual é expressa a umidade do ar é a **umidade relativa**, definida como a relação, em percentagem, existente entre a quantidade de vapor-d'água presente no ar e a quantidade máxima de vapor-d'água que ele poderá conter, a uma determinada temperatura.

Ponto de orvalho ou **temperatura do ponto de orvalho** é, para uma determinada pressão e teor de vapor-d'água constantes, o valor de temperatura correspondente ao ponto de saturação (ou seja, é a temperatura mínima na qual o ar atmosférico mantém-se saturado). Se o resfriamento persistir e o ar atingir temperatura inferior à do **ponto de orvalho**

Existem três processos gerais de condensação do vapor-d'água contido no ar atmosférico em uma determinada pressão, isto é, a um determinado nível de altitude:

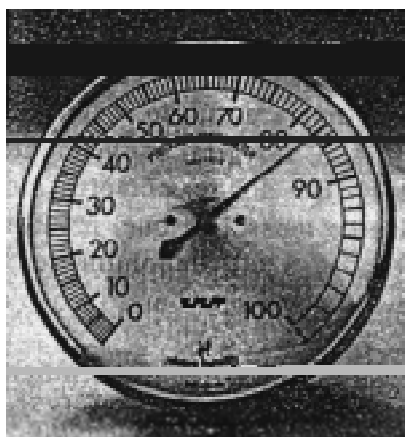
- Resfriamento;
- acréscimo de umidade; e
- resfriamento mais acréscimo de umidade.

A condição de saturação do ar é importante porque qualquer resfriamento adicional do ar saturado força o vapor-d'água a mudar de estado, retornando à forma líquida. Assim se formam as nuvens, os nevoeiros e as neblinas. Se o processo continua o bastante, ocorre precipitação, ou seja, descida de uma parcela do vapor-d'água condensado, sob a forma de chuva, geada, neve, saraiva, chuvisco, ou de uma combinação deles.

Se o mesmo **ar saturado** for aquecido até uma temperatura mais alta, ele poderá absorver uma quantidade maior de vapor-d'água, até tornar-se novamente saturado, nessa temperatura mais elevada.

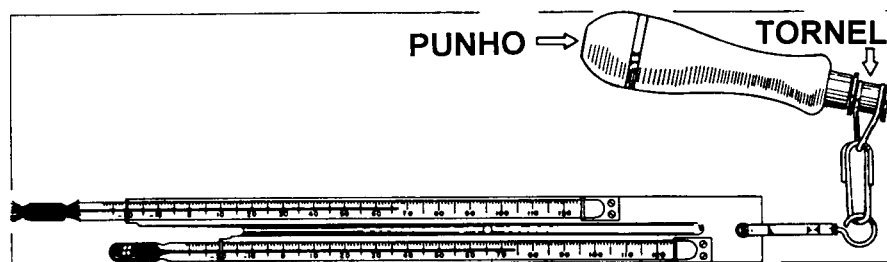
A umidade do ar é determinada por meio de **higrômetros** e **psicrômetros**. O **higrômetro** mais comum utiliza o cabelo humano como elemento sensível, porém outras substâncias de propriedades idênticas também podem ser usadas. O cabelo, por ser bastante sensível às variações da umidade do ar, além de sofrer a influência da temperatura, faz com que os **higrômetros** construídos com ele indiquem diretamente a **umidade relativa** do ar (figura 45.16). Os **higrógrafos** são instrumentos que registram a **umidade relativa** do ar. O princípio de funcionamento é idêntico ao do **higrômetro**, acrescido do sistema de relojoaria e do tambor giratório no qual é enrolado o papel de registro.

Figura 45.16 – Higrômetro (Indica Umidade Relativa)



No entanto, são os **psicrômetros** que fornecem as medidas mais precisas da umidade do ar. O tipo mais comum deste instrumento utilizado a bordo é o **psicrômetro de funda**, que possui dois termômetros iguais, geralmente graduados de meio em meio grau centígrado, sendo que um dos termômetros tem o bulbo envolto por uma camisa de musselina. Os termômetros são montados em uma armação metálica, provida de um punho, em torno do qual pode girar (figura 45.17).

Figura 45.17 – Psicrômetro de Funda



No momento da observação, a camisa de musselina do **termômetro úmido** é embebida em água. O observador, então, segurando pelo punho, faz girar rapidamente o **psicrômetro** ao ar livre, durante cerca de 2 a 3 minutos, e, em seguida, efetua a leitura da temperatura do **termômetro seco** (T_s) e da temperatura do **termômetro úmido** (T_u).

A evaporação da água da musselina do **termômetro úmido** produz um resfriamento proporcional à quantidade de vapor-d'água contido no ar, indicado na escala termométrica. Quanto mais seco estiver o ar, maior será a evaporação e, também, maior será o resfriamento.

Com a diferença entre as leituras do **termômetro seco** e do **termômetro úmido** (denominada **depressão do termômetro úmido**) e a **temperatura do ar** (temperatura do **termômetro seco**), a Tábua XIV do Apêndice 1, ou o ábaco da figura 45.18, nos fornecem o valor da **temperatura do ponto de orvalho (Td)**, ou “dew point”, correspondente ao ponto de saturação (isto é, a temperatura em que o vapor-d'água existente no ar atmosférico começa a ser condensar).

EXEMPLOS:

1. Temperatura do Termômetro Seco: $T_s = + 26^\circ \text{ C}$
 Temperatura do Termômetro Úmido: $T_u = + 20^\circ \text{ C}$
 Depressão do Termômetro Úmido: $T_s - T_u = 6^\circ \text{ C}$
 Tábua XIV (ou ábaco da figura 45.18): $T_d = 17,1^\circ \text{ C}$
2. Temperatura do Termômetro Seco: $T_s = + 30^\circ \text{ C}$
 Temperatura do Termômetro Úmido: $T_u = + 26^\circ \text{ C}$
 Depressão do Termômetro Úmido: $T_s - T_u = 4^\circ \text{ C}$
 Tábua XIV (ou ábaco da figura 45.18): $T_d = 24,7^\circ \text{ C}$

Com a temperatura do **termômetro seco (Ts)** e a **depressão do ponto de orvalho (Ts-Td)**, retira-se da Tábua XV, apresentada no Apêndice 1, o valor da **umidade relativa**.

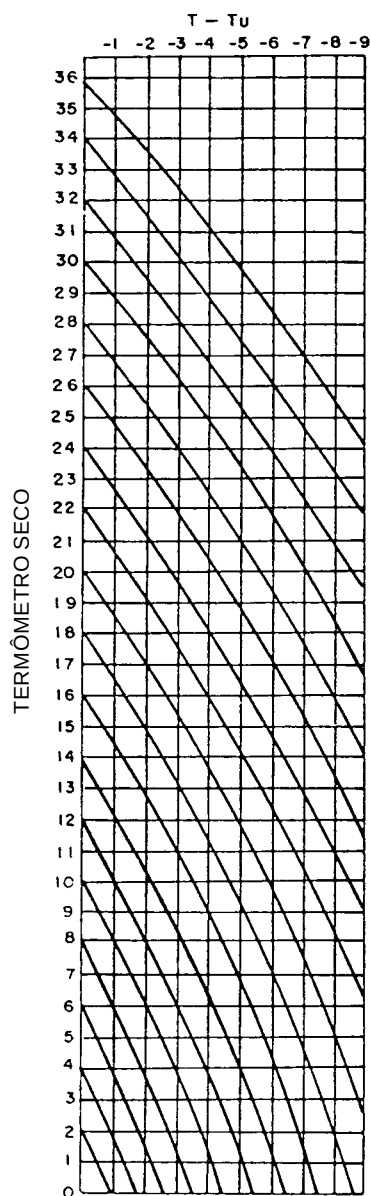
1. Temperatura do Termômetro Seco: $T_s = + 26^\circ \text{ C}$
 Temperatura do ponto de orvalho: $T_d = + 17,1^\circ \text{ C}$
 Depressão do ponto de orvalho: $T_s - T_d = 8,9^\circ \text{ C}$
 Tábua XV: umidade relativa = 57,6% @ 58%
2. Temperatura do Termômetro Seco: $T_s = + 30^\circ \text{ C}$
 Temperatura do ponto de orvalho: $T_d = + 24,7^\circ \text{ C}$
 Depressão do ponto de orvalho: $T_s - T_d = 5,3^\circ \text{ C}$
 Tábua XV: umidade relativa = 73,3% @ 73%

Pode-se, ainda, com a **temperatura do ar (temperatura do termômetro seco, Ts)** e a **umidade relativa**, obter a **temperatura do ponto de orvalho (Td)**, utilizando a Tábua XVI, apresentada no Apêndice 1.

1. Temperatura do ar (temperatura do termômetro seco): $T_s = + 12^\circ \text{ C}$
 Umidade relativa (lida no higrômetro): 70%
 Tábua XVI: temperatura do ponto de orvalho: $T_d = 6,7^\circ \text{ C}$
2. Temperatura do ar (temperatura do termômetro seco): $T_s = + 32^\circ \text{ C}$
 Umidade relativa (lida no higrômetro): 50%
 Tábua XVI: temperatura do ponto de orvalho: $T_d = 20,3^\circ \text{ C}$

Figura 45.18 – Ábaco para Determinação da Temperatura do Ponto de Orvalho (Td)

DEPRESSÃO DO TERMÔMETRO ÚMIDO



TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO

DESCER PELA CURVA QUE PARTE DA TEMPERATURA DO TERMÔMETRO SECO (T) ATÉ O ENCONTRO COM A DEPRESSÃO DO TERMÔMETRO ÚMIDO ($T - T_u$). LER ENTÃO, À ESQUERDA, A TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (T_d).

EXEMPLO:

TERMÔMETRO SECO = $26,0^\circ$

TERMÔMETRO ÚMIDO = $20,0^\circ$ (DEPRESSÃO = $6,0^\circ$)

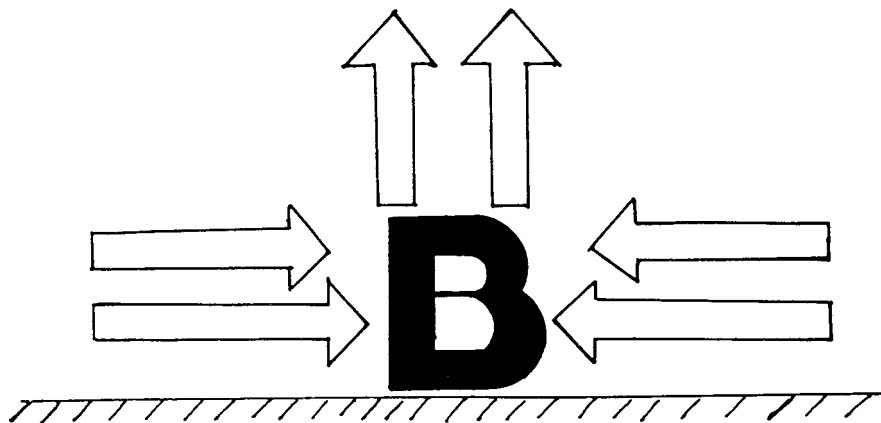
PONTO DE ORVALHO = $17,0^\circ$.

Como vimos, o **psicrômetro de funda** é um instrumento bastante útil, pois nos permite obter a **umidade relativa** e, também, a **temperatura do ponto de orvalho (Td)**, que é um parâmetro meteorológico muito importante. Além disso, em virtude de sua precisão, serve para calibrar os **higrômetros**. A bordo, o psicrômetro deve ser operado num lugar à sombra, a barlavento.

d. VENTO

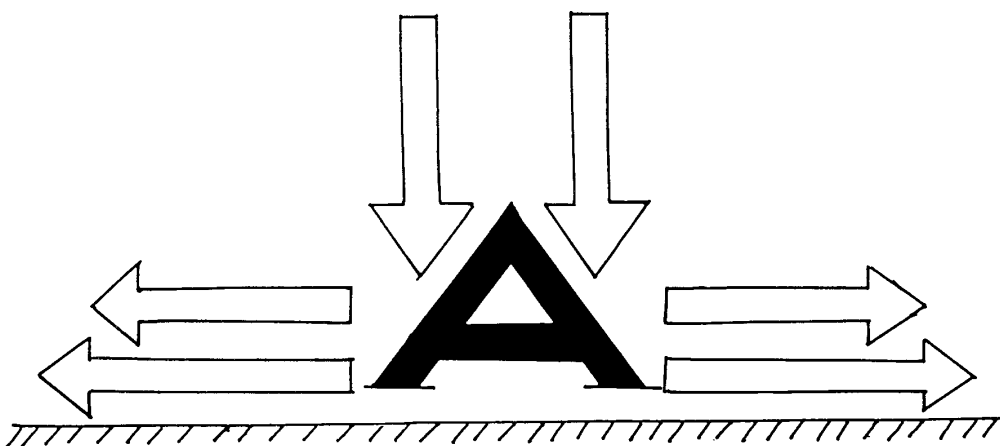
Vento é o movimento horizontal do ar, resultante de diferenças na pressão atmosférica entre áreas adjacentes. Quando uma região na superfície terrestre é aquecida sob a influência dos raios solares, a irradiação do calor provoca o aquecimento do ar, que, em consequência, se torna menos denso, mais leve e sobe para as camadas superiores. Isto é, na região considerada forma-se uma zona de **baixa pressão atmosférica** na superfície, afluindo para aí o ar das áreas vizinhas mais frias (figura 45.19), onde a pressão é mais elevada. Então, os **centros de baixa pressão** (ciclones) são centros convergentes, isto é, na superfície o ar converge para o centro de baixa pressão, conforme mostrado na figura 45.19.

Figura 45.19 – Circulação nos Centros de Baixa Pressão (Convergente / Ascendente)



Por outro lado, uma região fria na superfície resfria o ar adjacente, tornando-o mais denso e resultando em uma **área de alta pressão**. Este ar tende a fluir para as zonas de baixa pressão. Como indicado na figura 45.20, os **centros de alta pressão** são centros divergentes, isto é, na superfície o ar se afasta dos **centros de alta**, na direção de regiões de pressão mais baixa. Isto causa a descida (subsistência) do ar das camadas mais altas para a superfície (figura 45.20).

Figura 45.20 – Circulação nos Centros de Alta Pressão (Divergente / Descendente)



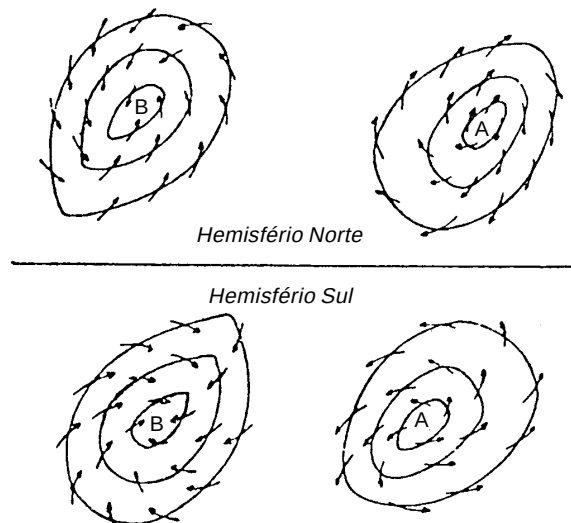
Assim se originam os ventos na superfície da Terra, podendo-se, pois, enunciar como lei geral dos ventos:

“O vento sopra dos centros de alta pressão para os centros de baixa pressão”.

Entretanto, o efeito do movimento de rotação da Terra (força de Coriolis) impede o vento de soprar diretamente dos centros de alta para os centros de baixa pressão. Em vez

disso, o vento segue uma trajetória curva. Em virtude da rotação do globo terrestre, os ventos, pelo Efeito de Coriolis, são desviados para a **direita** no Hemisfério Norte e para a **esquerda** no Hemisfério Sul. Então, no Hemisfério Norte os ventos giram no sentido anti-horário em torno dos centros de baixa pressão e no sentido horário em volta dos centros de alta. No Hemisfério Sul sucede o contrário, isto é, os ventos giram no sentido horário em torno dos centros de baixa e no sentido anti-horário em torno dos centros de alta pressão (figura 45.21).

Figura 45.21 – Representação Gráfica dos Ciclones e Anticiclones, com as Isóbaras e os Ventos Correspondentes

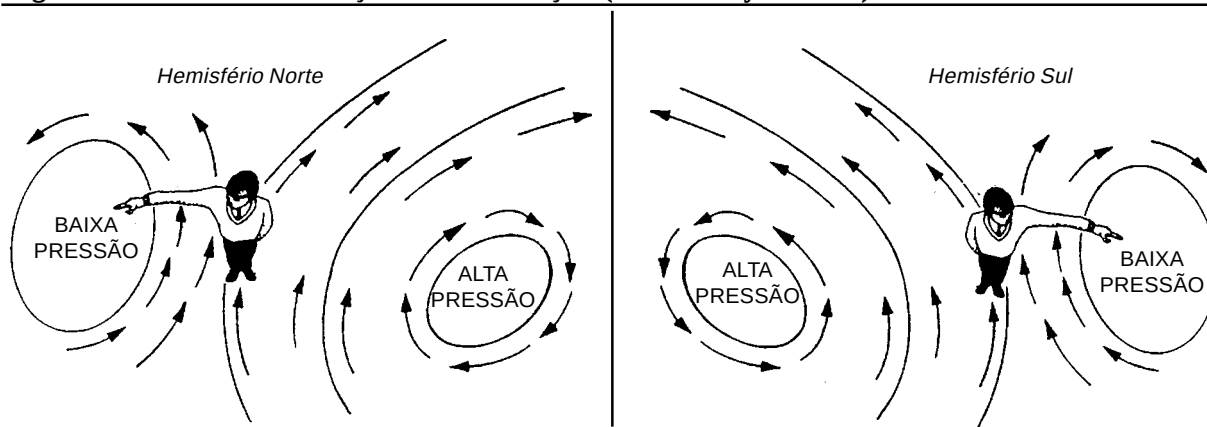


Disto resulta a lei de Buys-Ballot (1817-1890), ou **lei básica dos ventos**, que estabeleceu uma relação entre o vento e a distribuição de pressão e que, para efeito de nosso estudo, pode ser aqui enunciada do seguinte modo:

“Voltando-se para a direção de onde sopra o vento verdadeiro, a baixa barométrica fica à sua direita no Hemisfério Norte e à esquerda no Hemisfério Sul, a cerca de 110° da direção de onde sopra o vento” (ver a figura 45.21a).

Em meteorologia, a circulação em torno de um centro de baixa pressão (**B**) toma a designação de sistema ciclônico de ventos ou, simplesmente, **ciclone**. Em torno de um centro de alta pressão (**A**), o conjunto de ventos denomina-se **anticiclone**. A representação gráfica dos **ciclones** e **anticiclones** faz-se, como vimos, por meio de **isóbaras** (linhas que unem os pontos da superfície da Terra de igual pressão barométrica, no mesmo instante). Os ventos não são bem tangentes às **isóbaras**, formando com elas ângulos de 20° a 30° para o lado do

Figura 45.21a – Identificação da Circulação (Lei de Buys-Ballot)

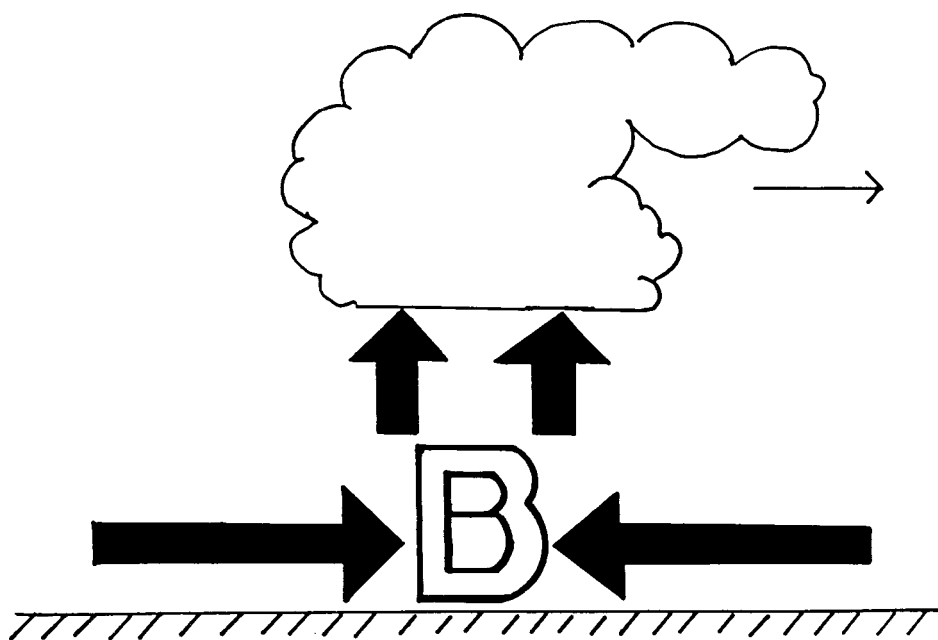


centro de baixa pressão. Num **anticiclone**, o ângulo dos ventos com as isóbaras é, geralmente, maior e sempre para o lado de fora do centro de alta.

Há, então, uma relação entre os efeitos da temperatura e da pressão e a circulação resultante. Existe, normalmente, uma associação entre temperaturas de superfície mais frias, pressões atmosféricas mais altas, subsidência e divergência; e entre temperaturas de superfície mais elevadas, pressões mais baixas, convergência e ascensão do ar. O vento é resultado dessas associações. Áreas de alta e de baixa pressão e os fluxos de ventos a elas associados formam-se e movem-se continuamente através da superfície da Terra. Certas características meteorológicas são típicas destas áreas de pressão e, assim, o conhecimento de sua localização e de seus movimentos é essencial para a previsão do tempo.

Em regra, os **sistemas ciclônicos** de ventos movem-se rapidamente e são acompanhados por **mau tempo**. Os ventos à superfície convergem para os centros de baixa pressão. Além disso, nas depressões há subida de ar da superfície para as camadas superiores, causando, assim, o resfriamento desse ar e, conseqüentemente, a sua saturação, seguida da formação de nebulosidade e possibilidade de chuvas (figura 45.22). Por outro lado, os **sistemas anticiclônicos** deslocam-se vagarosamente e, em geral, estão associados a **bom tempo**.

Figura 45.22 – Formação de Nuvens nos Centros de Baixa Pressão, pela Ascensão e Resfriamento do Ar



A **direção** do vento é a direção de onde ele sopra. Assim, o vento **N** (norte) sopra do **norte** para o **sul**; o vento **E** (leste) sopra de **leste** para **oeste**.

A **força** do vento é a pressão que ele exerce sobre a unidade de área. A **força** do vento não é função da pressão barométrica, mas sim da diferença de pressões entre dois lugares e da distância entre eles, isto é, a **força** do vento é proporcional ao **gradiente barométrico**, que é a diferença de pressões, em milibares, medida perpendicularmente às isóbaras (e correspondente à distância de 60 milhas). Quanto mais próximas estiverem as **isóbaras**, maior o **gradiente barométrico** e maior a força do vento. Porém, em vez de se medir a **força**, mede-se a **velocidade** do vento, ou seja, a distância que o ar percorre na unidade de tempo. Em meteorologia marinha, a velocidade do vento é expressa em **nós** (milhas náuticas por hora); 1 nó é igual a 1,852 km/h, ou 0,514 m/s.

Para indicar a força do vento, adota-se a **escala Beaufort** (figura 45.23), com números de 0 a 12 para designar desde a **calmaria** até ventos de **furacão**.

Figura 45.23 – Escala Beaufort Utilizada a Bordo para Classificação do Vento e do Estado do Mar

Designação Beaufort	Velocidade		Aspecto do mar
	nós	m/s	
0 – Calmaria	< 1	0 a 0,2	Espelhado.
1 – Bafagem	1 a 3	0,3 a 1,5	Mar encrespado em pequenas rugas com aparência de escamas, sem cristas.
2 – Aragem	4 a 6	1,6 a 3,3	Ligeiras ondulações curtas, de 30 cm de altura com cristas viradas, mas sem arrebentação.
3 – Fraco	7 a 10	3,4 a 5,4	Grandes ondulações de 60 cm, com princípio de arrebentação. Alguns carneiros.
4 – Moderado	11 a 16	5,5 a 7,9	Pequenas vagas de 1,50 m, com freqüentes carneiros.
5 – Fresco	17 a 21	8,0 a 10,7	Vagas moderadas, de forma longa e 2,40 m de altura. Muitos carneiros. Possibilidade de alguns borrifos.
6 – Muito fresco	22 a 27	10,8 a 13,8	Grandes vagas de 3,60 m de altura. Muitas cristas brancas. Freqüentes borrifos.
7 – Forte	28 a 33	13,9 a 17,1	Mar grosso. Vagas de 4,80 m de altura. A espuma da arrebentação se dispõe em estrias, indicando a direção do vento. Muitos borrifos.
8 – Muito forte	34 a 40	17,2 a 20,7	Vagalhões regulares de 5,50 a 7,50 m com faixas espessas e espuma branca e franca arrebentação.
9 – Duro	41 a 47	20,8 a 24,4	Vagalhões de 7,00 a 10,00 m com faixas de espuma densa. O mar rola. A visibilidade começa a ser afetada.
10 – Muito duro	48 a 55	24,5 a 28,4	Grandes vagalhões de 9,00 a 12,00 m. O vento arranca as faixas de espuma, arrebentando as vagas em cascata. Visibilidade reduzida. A superfície do mar é quase toda coberta de estrias brancas.
11 – Tempestuoso	56 a 63	28,5 a 32,6	Vagalhões excepcionalmente grandes, até 16,00 m. A visibilidade é afetada. Os navios de tamanho médio desaparecem no cavado das vagas.
12 – Furacão	64 e acima	32,7 e acima	Mar branco de espuma; respingos saturam o ar. A visibilidade é seriamente afetada.

A **direção** e a **velocidade** do vento são medidas pelos **anemômetros** (figuras 45.24 e 45.25). Em ambos os tipos, a orientação do sensor (anemoscópio) indica a direção do vento, enquanto a rotação do hélice ou das conchas permite a determinação da sua velocidade.

Figura 45.24 – Anemômetro Portátil

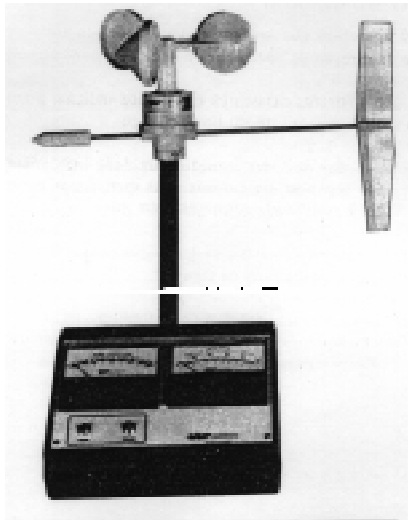
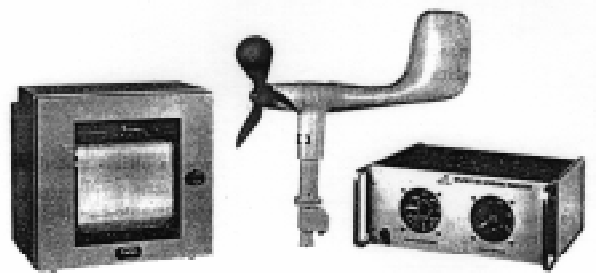


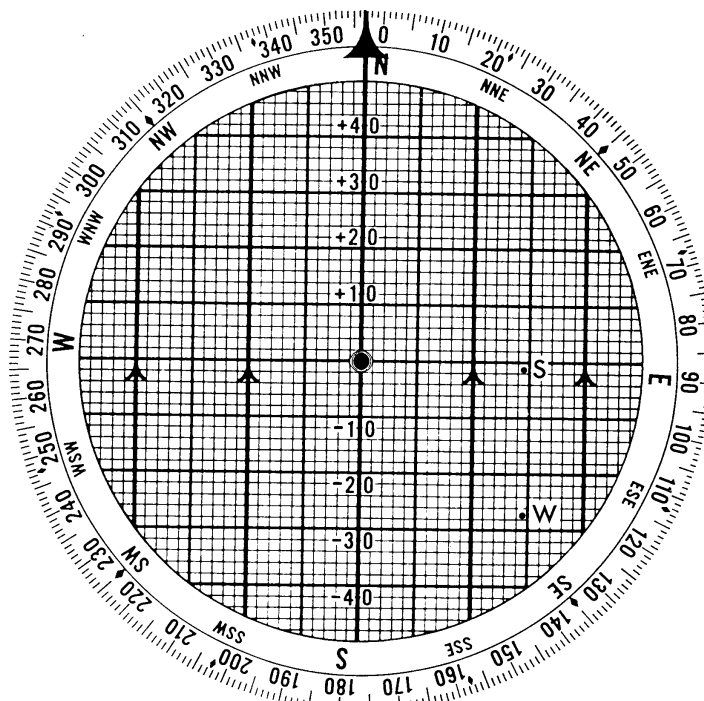
Figura 45.25 – Anemômetro de Mastro



Os **anemômetros** existentes nos navios indicam a direção e a velocidade do **vento relativo**, ou **vento aparente**, que resulta da combinação do **vento verdadeiro** com o **movimento do navio**. Entretanto, nos interessa conhecer o **vento verdadeiro**. Para determinação do **vento verdadeiro** a bordo, partindo dos elementos do **vento relativo**, podem ser utilizados ábacos especiais, a Tábua **XII** do Apêndice 1 ou a solução gráfica do problema, através da construção, em uma rosa de manobra, do “triângulo de velocidades”.

Os ábacos especiais, como o da figura 45.26, têm, cada um, suas próprias instruções de uso. A Tábua **XII – DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO VERDADEIRO**, apresentada no Apêndice 1, deve ser usada da seguinte maneira:

Figura 45.26 – Ábaco para Determinação do Vento Verdadeiro



(1) Divida a velocidade do vento relativo (vento aparente), em nós, pela velocidade do navio, também em nós;

(2) entre na Tábua **XII** com este fator e o ângulo entre o rumo e a direção do vento relativo; e

(3) os dados fornecidos pela Tábua **XII** são:

– a diferença entre o rumo e a **direção do vento verdadeiro** (o **vento verdadeiro** estará no mesmo bordo que o vento relativo, mais para ré); e

– um fator que, multiplicado pela velocidade do navio (em nós) dará a **velocidade do vento verdadeiro**, em nós.

EXEMPLOS:

1. Rumo do navio = 270°, velocidade = 14,3 nós

Vento relativo = 040° BE, velocidade = 20 nós

Determinar a direção e a velocidade do **vento verdadeiro** pela Tábua **XII**.

SOLUÇÃO:

$$a) \text{ fator} = \frac{\text{velocidade do vento relativo}}{\text{velocidade do navio}} = \frac{20}{14,3} @ 1,4$$

b) Tábua **XII** : 085° ; 0,90

c) Direção do vento verdadeiro: 270° + 085° = 355°

Velocidade do vento verdadeiro: 0,90 x 14,3 @ 13 nós

2. Rumo do navio = 235°, velocidade = 8 nós

Vento relativo = 120° BB, velocidade = 24 nós

Determinar a direção e a velocidade do **vento verdadeiro** pela Tábua **XII**.

SOLUÇÃO:

$$a) \text{ fator} = \frac{\text{velocidade do vento relativo}}{\text{velocidade do navio}} = \frac{24}{8} = 3,0$$

b) Tábua **XII** : 134° ; 3,61

c) Direção do vento verdadeiro: 235° – 134° = 101°

Velocidade do vento verdadeiro: 3,61 x 8 = 28,9 @ 29 nós

Para determinação do **vento verdadeiro** pela rosa de manobra, através do “triângulo de velocidades”, o problema pode ser resolvido assemelhando o movimento do ar ao movimento relativo de um outro navio. O **vento verdadeiro** corresponde ao **movimento real (absoluto)** do ar. O **vento relativo** é o movimento do ar em relação ao nosso navio (que também se move). Procede-se, então, da seguinte maneira:

(1) Retiram-se dos mostradores do anemômetro os valores correspondentes à direção e à velocidade do vento relativo; anotam-se o rumo verdadeiro e a velocidade do navio;

(2) combina-se a direção do vento relativo com o rumo do navio, para obter a direção, na rosa de manobra, de onde sopra o vento aparente;

(3) plota-se na rosa de manobra, a partir do centro do diagrama, o vetor do movimento do navio (**tr**), selecionando uma escala de velocidade adequada;

(4) da cabeça deste vetor (ponto **r**), traça-se o vetor do vento aparente (**rw**), com a direção de onde sopra este vento e sua velocidade, medida na mesma escala usada para a velocidade do navio; e

(5) obtém-se, então, o vetor **tw**, que nos fornece os elementos do **vento verdadeiro**: direção (de onde sopra) e velocidade (medida na mesma escala usada para traçar os outros dois vetores).

EXEMPLOS:

1. Rumo do navio = 150°, velocidade = 17 nós

Vento relativo = 040° BE, velocidade = 15 nós

Determinar, pelo “triângulo de velocidades”, os elementos do **vento verdadeiro**.

SOLUÇÃO:

a) Se o **vento relativo** está entrando aos 040° BE e o rumo do navio é 150°, ele está soprando de 190°;

b) Selecionando a escala de velocidades de 2:1, plotam-se na rosa de manobra os vetores do movimento do navio (**tr**) e do vento relativo (**rw**), conforme mostrado na figura 45.27;

c) Determina-se, então, o vetor do **vento verdadeiro (tw)**, que nos fornece:

- direção = 270° (de onde sopra o vento verdadeiro);
- velocidade = 11 nós (medida na escala 2:1).

2. Rumo do navio = 213°, velocidade = 21 nós

Vento relativo = 070° BB, velocidade = 20 nós

Determinar, pelo “triângulo de velocidades”, a direção e a velocidade do **vento verdadeiro**.

SOLUÇÃO:

a) Se o **vento relativo** está entrando aos 070° BB e o rumo do navio é 213°, o vento aparente está soprando de 143°;

b) Selecionando a escala de velocidades de 3:1, plotam-se na rosa de manobra os vetores do movimento do navio (**tr**) e do vento relativo (**rw**), conforme mostrado na figura 45.28;

c) Traça-se, então, o vetor do **vento verdadeiro (tw)**, que nos fornece:

- direção = 086° (de onde sopra o vento verdadeiro);

Figura 45.27 – Determinação do Vento Verdadeiro

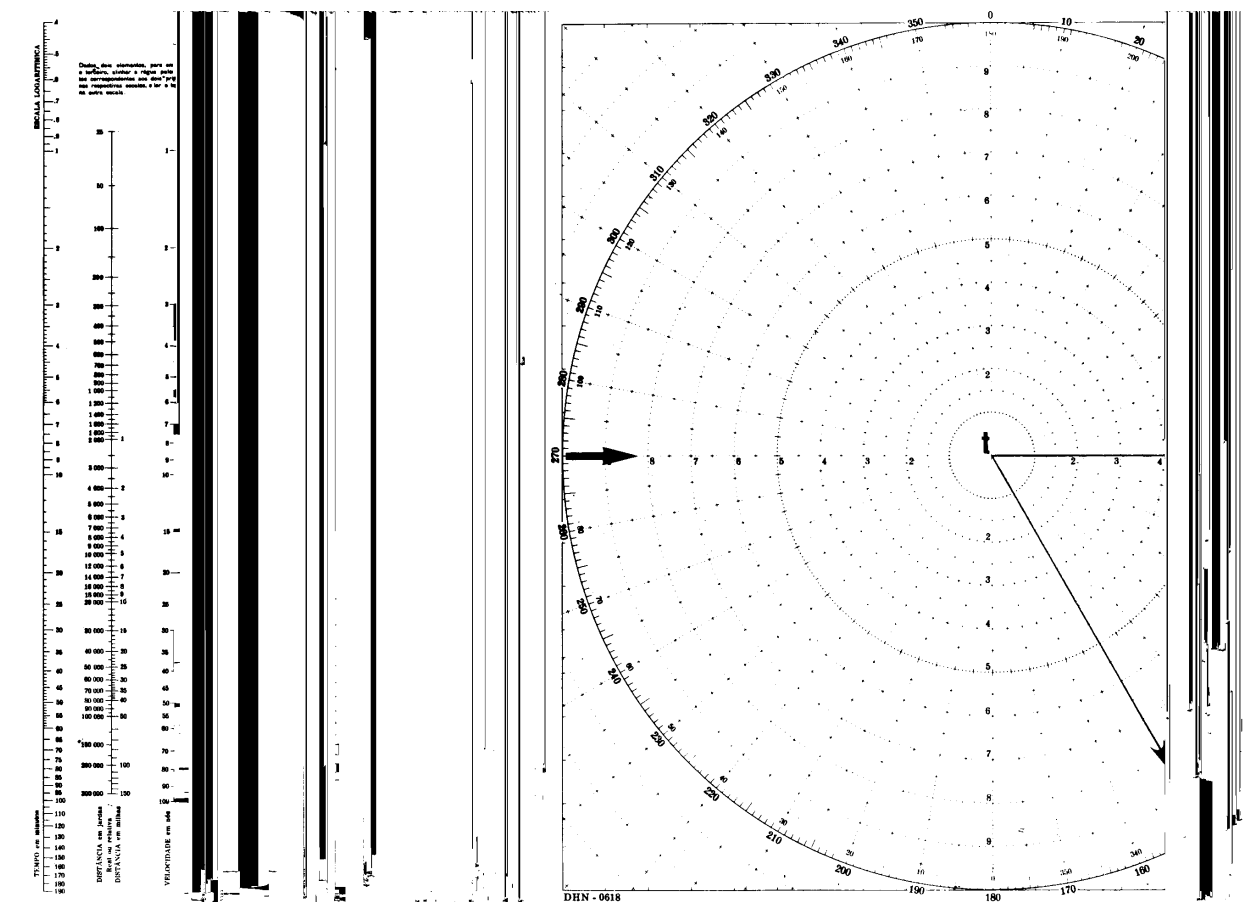
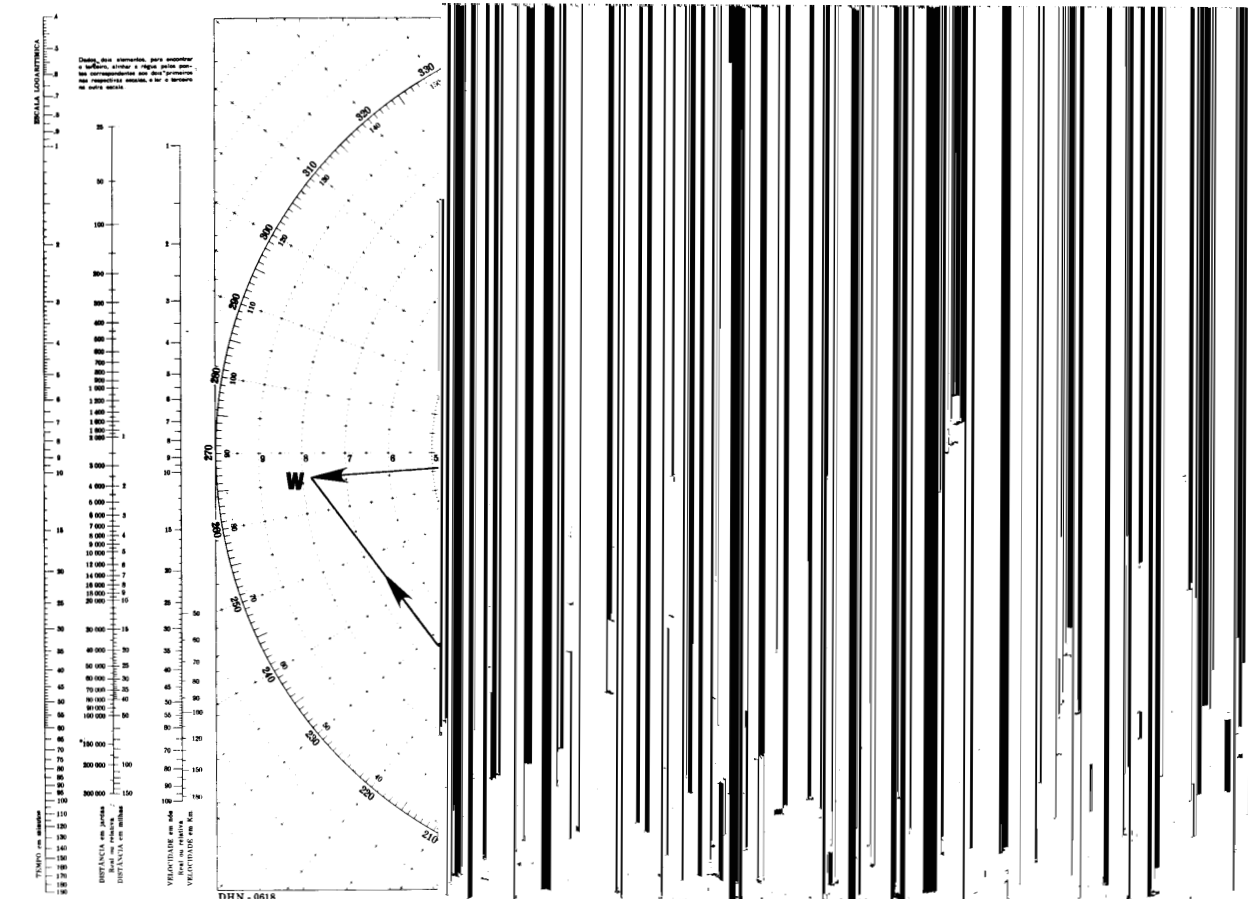


Figura 45.28 – Determinação do Vento Verdadeiro



- velocidade = 23 nós (o valor da velocidade do vento é sempre arredondado, na prática da navegação, ao inteiro mais próximo).

Quando a direção do vento coincide com o rumo do navio, não há necessidade do uso da rosa de manobra. Esta situação ocorre quando o vento relativo está entrando pela proa (000° relativos) ou pela popa do navio (180° relativos). O **vento verdadeiro**, então, é obtido subtraindo ou somando ao **vento relativo** a velocidade do navio. Quando a bordo não se sente vento, é porque o **vento verdadeiro** está de popa, com velocidade igual à do navio.

EXEMPLOS:

1. Rumo do navio = 090° , velocidade = 20 nós
Vento relativo = 180° , velocidade = 15 nós
Vento verdadeiro: direção = 270° , velocidade = 35 nós.
2. Rumo do navio = 090° , velocidade = 20 nós
Vento relativo = 000° , velocidade = 30 nós
Vento verdadeiro: direção = 090° , velocidade = 10 nós.
3. Rumo do navio = 090° , velocidade = 20 nós
Vento relativo = zero (não se sente o vento a bordo)
Vento verdadeiro: direção = 270° , velocidade = 20 nós.

Além dos **ventos gerais**, descritos quando estudamos a circulação geral da atmosfera, existem sistemas periódicos de ventos que sopram em áreas relativamente grandes, como as **monções** do Oceano Índico e do Mar da China. As **monções** são ventos periódicos, que sopram cerca de 6 meses em uma determinada direção e outro tanto de tempo na direção oposta.

Como vimos, os alísios têm origem em uma zona de altas pressões de caráter permanente, nas proximidades do paralelo de 30° de ambos os hemisférios. Contudo, existindo um vasto continente nesta zona, a pressão atmosférica pode modificar-se, de modo a perturbar grandemente o regime dos ventos alísios. É o que ocorre sobre a Ásia, cujos áridos e vastos planaltos estão sujeitos a grandes variações de temperatura. No verão do Hemisfério Norte (abril a setembro), a terra se aquece consideravelmente na Ásia Central e origina uma acentuada baixa pressão atmosférica; ter-se-á, assim, um vento SW, em vez do alísio de NE. No inverno do Hemisfério Norte (outubro a março), o continente asiático resfria-se rapidamente e origina uma alta pressão; deste modo, será reforçado o alísio de NE, o qual chega a passar para o Hemisfério Sul, desviando-se para a esquerda e tornando-se um vento NW.

Assim, as **monções** fazem-se sentir no Oceano Índico e no Mar da China, nos seguintes períodos:

- **Monção de SW:** de abril a setembro; e
- **Monção de NE:** de outubro a março.

No inverno do Hemisfério Norte, o centro de alta pressão localiza-se sobre a China; no verão, o centro de baixa pressão forma-se sobre a Índia. Conseqüentemente, a **monção de NE** sopra forte no Mar da China e fraca no Índico; por outro lado, a **monção de SW** é violenta (força 6 a 8) no Oceano Índico e fraca no Mar da China. A transição de uma monção para outra é acompanhada ora de calmarias ora de aguaceiros, sendo, então, freqüentes os tufões no Mar da China.

Ainda que a palavra **monção** seja especificamente utilizada para designar ventos periódicos do sul e sudeste da Ásia, existem sistemas análogos em outros locais onde se desenvolvem grandes diferenças de temperatura entre os oceanos e os continentes. Nas Latitudes médias e altas estes ventos sazonais tendem a ser mascarados pelos ventos gerais. Contudo, nas Latitudes mais baixas podem ser encontrados outros ventos tipo **monção**, tais como:

– **Monção do Golfo da Guiné:** devido ao sobreaquecimento das planícies centrais da África, o alísio de SE do Atlântico Sul é desviado no Golfo da Guiné, produzindo, nesta região, um vento **S** ou **SW** permanente, conhecido por **monção africana** ou do **Golfo da Guiné**;

– **Monção do Mar Vermelho:** o vento predominante no Mar Vermelho é de **NNW**, porém, de outubro a maio, prevalece na parte Sul a **monção de SSE**, causada por um desvio, no Golfo de Aden, da **monção de NE** vinda do Oceano Índico. Na parte Norte do Mar Vermelho mantém-se o vento **NNW** e na parte central forma-se uma zona de calmarias ou de ventos fracos; e

– **Monção da costa do Brasil:** durante o verão no Hemisfério Sul, forma-se na parte central do Brasil uma zona de baixa pressão que origina, de setembro a março, a **monção de NE** ao longo da costa, até o Rio da Prata. Nos meses restantes do ano, prevalece o vento de **SE** ou **SW**.

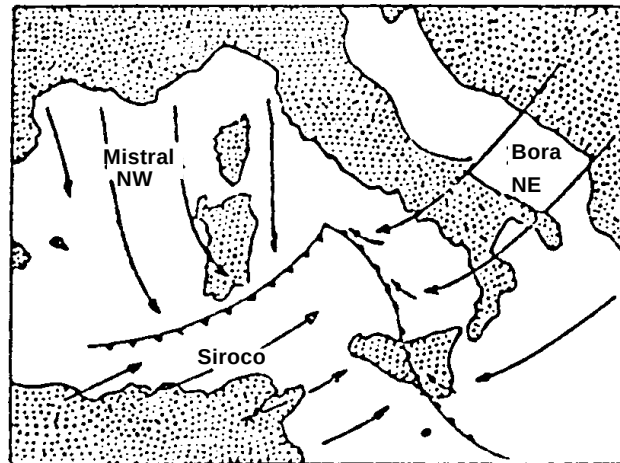
Ademais, diferentes condições topográficas, associadas a diferenças de pressão e temperatura, produzem uma grande variedade de **sistemas de ventos locais** na superfície da Terra, ou seja, além dos **ventos gerais** e dos **ventos periódicos** mencionados, existem inúmeros **ventos locais**, que influenciam o tempo em muitos lugares. Quando o vento catabático é **seco** e **quente** para a estação em que ocorre, é denominado de “**foehn**”. Os “**foehns**”, então, são ventos fortes, secos e quentes que se desenvolvem, em determinadas ocasiões, na encosta de sotavento das cordilheiras. São, sobretudo, freqüentes e fortes sobre as encostas norte dos Alpes; porém, com menor intensidade, podem ocorrer a sotavento de qualquer montanha. Ventos deste tipo têm lugar ao longo da encosta leste das Montanhas Rochosas, nos EUA, sendo conhecidos pelo nome de “**chinook**”.

Outro tipo de **vento catabático** é um vento frio soprando para baixo de uma elevação. Embora se aqueça durante a descida, este tipo de vento permanece frio, com relação ao ar circundante. Tais ventos são, em geral, violentos, podendo, até mesmo, alcançar força de furacão. Recebem nomes diferentes, de acordo com o local onde sopram. Exemplos deste tipo de vento são:

– **Bora:** vento frio de NE, por vezes violento, que sopra no Mar Adriático, ocasionado por uma depressão no Mediterrâneo;

– **Mistral:** vento frio de NW, muito freqüente no Golfo de Lion e no oeste do Mediterrâneo, que sopra muitas vezes com violência tempestuosa no inverno (figura 45.28 a). Produz-se nas mesmas condições do **bora**;

Figura 45.28a – Ventos do Mediterrâneo



- **Tehuantepecer**: que sopra no Golfo do México e na costa da América Central;
- **Pampeiro**: vento violento de SW que sopra na costa da Argentina, sobretudo nas proximidades do Rio da Prata, ocorrendo de julho a setembro, devido a uma depressão em “V” que se forma na região; e
- **Minuano**: vento frio que sopra no sul do Brasil.

Como vimos no Capítulo 41, na Antártica os **ventos catabáticos**, ou **ventos de drenagem**, são freqüentes e, muitas vezes, destrutivos.

Em alguns locais ocorrem ventos catabáticos durante a noite, denominados **brisas de montanha**.

O **vento anabático**, ou **brisa de vale**, é o ar quente e úmido que sopra montanha acima, normalmente como resultado do aquecimento de superfície, favorecendo a formação de instabilidade no topo da elevação; ocorre, em geral, durante o dia.

Entre os **ventos quentes**, talvez o mais conhecido seja o “**sirocco**”, vento S/SW que sopra da África do Norte sobre o Mediterrâneo Central e o sul da Itália, na parte frontal de uma baixa que avança, movendo-se do Sahara ou do deserto da Arábia. Sobre a África o ar é seco; porém, quando chega à Itália, freqüentemente está muito úmido. Este vento, na Espanha, é chamado de “**leveche**”. O caso extremo de vento quente é o “**simún**”, que é tão quente e seco que se descreve, freqüentemente, como sufocante. Sopra, em determinadas ocasiões, com rajadas curtas, sobre o Sahara e os desertos da Arábia, muitas vezes transportando areia fina.

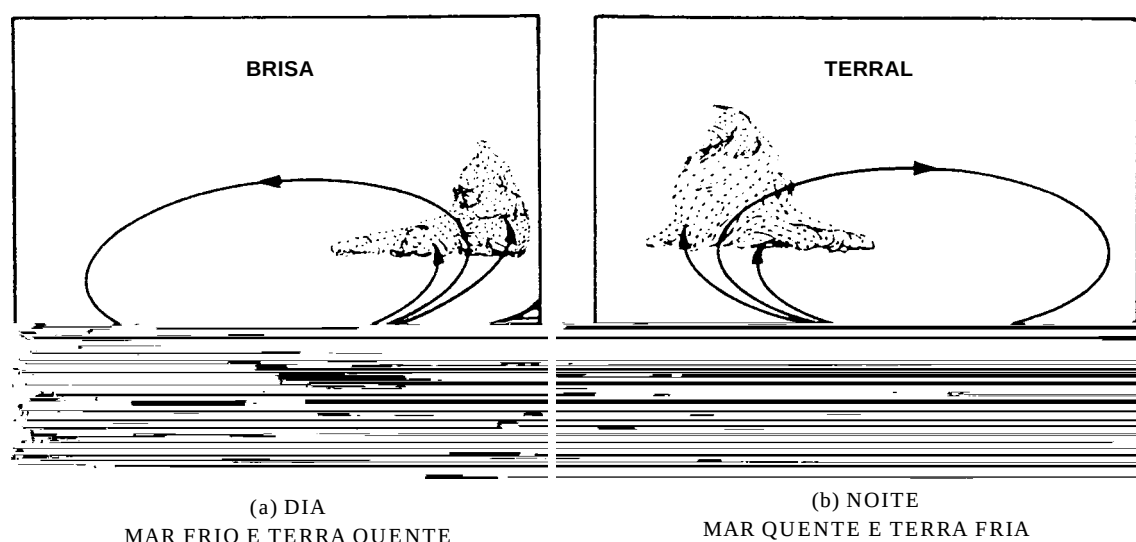
Os ventos locais mais comuns são a **brisa** e o **terral**, ventos cíclicos causados pelo aquecimento e resfriamento alternados e desiguais de massas terrestres e áreas marítimas adjacentes. Pela manhã, é pequena a diferença de temperatura entre a terra e o mar. Entre 0900 e 1100 horas locais, com o Sol ganhando altura no céu, a temperatura da terra torna-se maior que a do mar adjacente. Então, o ar sobre a superfície terrestre se aquece mais rapidamente que o ar sobre o oceano e ascende; o ar mais frio e denso do oceano movimenta-se para o continente, a fim de substituir o ar quente daquela região, originando um fluxo do mar para a costa, denominado **brisa**, **brisa marítima** ou **viração** (figura 45.29 a), que normalmente começa a soprar mais forte no início da tarde.

Mais tarde, quando a terra resfria e desaparece o contraste de temperaturas, a **brisa** pára. Durante a noite, o continente se resfria mais rapidamente que o oceano e, quando a terra fica mais fria que o mar, o ar sobre a superfície terrestre é resfriado e

torna-se mais denso, aumentando a pressão atmosférica, enquanto o ar sobre o oceano torna-se mais quente e menos denso, originando uma pressão mais baixa. Isto causa um fluxo de ar da terra para o mar; este fenômeno denomina-se **terral** ou **brisa terrestre**, que sopra durante a noite e cessa próximo do nascer do Sol (figura 45.29 b). A **brisa** e o **terral** sopram em ocasiões de bom tempo sobre muitas costas, particularmente nos climas quentes. Nos trópicos e regiões subtropicais o ciclo brisa-terral repete-se com grande regularidade, durante a maior parte do ano, sendo mais notável no verão. A **brisa do mar** é, em geral, mais forte que o **terral**.

Como as mudanças na pressão atmosférica associadas com este ciclo não são grandes, os ventos resultantes são, normalmente, fracos ou moderados. Além disso, esta circulação é de alcance limitado, atingindo, no máximo, 20 milhas terra a dentro e não mais que 5 a 6 milhas para o largo.

Figura 45.29 – Brisa do Mar e de Terra (Terral)



e. NUVENS

Para que ocorra a condensação do vapor-d'água contido no ar atmosférico e se desencadeie o processo de formação de nuvens em determinado nível de altitude, é necessário que haja resfriamento do ar até que a **umidade relativa** tenha atingido o índice de 100%. A atmosfera a cada nível de altitude tem uma temperatura do ar distinta, porque, conforme sobe, o ar se expande e, conseqüentemente, se resfria. Esse resfriamento afetará continuamente a umidade relativa da massa de ar ascendente, até atingir o nível em que ela chegará a 100%, na altitude denominada **nível de condensação**, onde a temperatura do ar será a própria **temperatura do ponto de orvalho**. Nesse nível, que coincide com o nível da base das nuvens baixas, iniciar-se-á a condensação, que continuará a se processar com a subida da massa de ar.

As nuvens consistem de água em seus estados visíveis, sendo constituídas de gotículas d'água, cristais de gelo, ou uma mistura de ambos, suspensa no ar acima da superfície da Terra. Em geral, as nuvens são sustentadas por correntes ascendentes na atmosfera e, apesar de parecerem flutuar, os elementos que as compõem caem lentamente em relação ao ar circundante.

As nuvens, portanto, resultam da condensação e/ou do congelamento do vapor-d'água existente no ar atmosférico. O processo mais freqüente de formação de nuvens é o resfriamento do ar atmosférico provocado pela sua subida. As nuvens se formam quando o **ar saturado** é resfriado. Quando o ar contendo umidade ascende, afastando-se da superfície

da Terra, ele se resfria. Conforme a ascensão e o resfriamento continuam, a condição de **saturação** é atingida. Um resfriamento adicional força o vapor-d'água a mudar de estado, dando origem a uma nuvem. A condensação do vapor-d'água em gotículas tem lugar, preferencialmente, em torno de certas partículas sólidas existentes no ar, denominadas **núcleos de condensação**, constituídos por **substâncias higroscópicas**. Uma vez iniciado o processo, o vapor-d'água passa a condensar-se sobre a água líquida que já se tenha formado.

Basicamente, a subida do ar que dá origem às nuvens pode ser causada por três mecanismos distintos:

- Aquecimento desigual de massa de ar (convecção), quando o ar ascende por efeito do aquecimento que recebe da superfície da Terra;
- subida forçada pelo relevo, quando o ar ascende como resultado de um vento que sopra empurrando-o montanha acima; e
- ação de subida ao longo de frentes meteorológicas.

Todas as nuvens se constituem, inicialmente, na **troposfera**, podendo apresentar duas formas gerais. As nuvens podem aparecer como camadas uniformes ou extensos lençóis, cobrindo grandes áreas, sem muita altura ou desenvolvimento vertical. São, então, chamadas de **nuvens estratiformes**, estando associadas com **estabilidade** na atmosfera ou ausência de correntes ascendentes. Isto resulta, geralmente, em visibilidade ruim por baixo das bases das nuvens, devido à falta de correntes verticais para misturar e dispersar fumaça e partículas de poeira suspensas no ar. A precipitação associada às **nuvens estratiformes** é de caráter leve, contínua e extensiva. Às vezes, observam-se pancadas de chuvas fortes caírem de uma camada de **nuvens estratiformes**, mas isto significa que há **nuvens cumuliformes** na camada, invisíveis para o observador.

A outra forma geral das nuvens apresenta uma natureza volumosa, com desenvolvimento vertical considerável. São as **nuvens cumuliformes**. Enquanto as nuvens estratiformes se desenvolvem horizontalmente, as nuvens cumuliformes se desenvolvem verticalmente. A presença de correntes ascendentes, verticais, é característica das **nuvens cumuliformes**, podendo ser notadas observando-se o aspecto das nuvens, principalmente nos seus estágios de formação. Estas nuvens estão associadas com algum grau de **instabilidade** na atmosfera e a presença de correntes verticais. De fato, são estas correntes ascendentes que causam o desenvolvimento vertical das **nuvens cumuliformes**. Algumas destas nuvens, denominadas **cumulonimbus**, desenvolvem-se desde as proximidades da superfície, através da troposfera, até grandes altitudes, alcançando os primeiros níveis da estratosfera. A visibilidade nas condições que produzem **nuvens cumuliformes** é, em geral, boa, pois as correntes verticais presentes servem para misturar e distribuir através da atmosfera a fumaça e as partículas de poeira suspensas no ar. A precipitação associada às **nuvens cumuliformes** é de caráter forte, descontínua, em pancadas, com ou sem trovões.

As **nuvens cumuliformes** apresentam protuberâncias, numa aparência de couve-flor, em contraste com a forma plana característica das **nuvens estratiformes**. As bases das **nuvens cumuliformes** normalmente se apresentam num mesmo nível, enquanto que a altitude dos seus topos é muito variável. O topo das nuvens deste tipo marcam o limite das correntes verticais que as produziram. A base das nuvens cumuliformes está, em geral, abaixo de 1.500 metros, pois, raramente, o teor de umidade é tão baixo que permita que o ar seja elevado até esta altitude sem haver condensação. O topo, no entanto, pode estar a qualquer altitude, dependendo apenas do grau de instabilidade da atmosfera. As **nuvens cumuliformes** dividem-se em três tipos, dependendo do seu tamanho e aspecto:

- Cumulus de bom tempo ou, simplesmente, cumulus;
- cumulus congestus ou pesados; e
- cumulonimbus.

O **cumulus** ou **cumulus de bom tempo** é uma nuvem pequena, vista comumente nas tardes de verão; sua altura, da base ao topo, não é maior que 1.000 metros e nenhuma precipitação está a ele associada. O **cumulus congestus** já é uma nuvem maior; o seu topo poderá estar até 3.000 ou 4.000 metros acima de sua base. Geralmente, não há precipitação decorrente de tal nuvem e, se isto vier a ocorrer, será sob a forma de pancadas, as quais podem se evaporar antes de atingir o solo. Um **cumulus congestus** poderá se degenerar, dando origem a pequenos cumulus, ou crescer cada vez mais e se transformar, rapidamente, num cumulonimbus com trovoadas.

O **cumulonimbus** é uma grande nuvem, com notável desenvolvimento vertical, estendendo-se desde as proximidades do solo até grandes altitudes, podendo alcançar os primeiros níveis da estratosfera. Uma nuvem **cumulonimbus** significa trovoadas e precipitação pesada, sob forma de pancadas, contínua turbulência e granizo em alguns pontos. O topo da nuvem é a região onde se formam os cristais de gelo, havendo dificuldade de distinguir o seu contorno, em contraste com a parte mais baixa da nuvem, perfeitamente delineada. A presença de cristais de gelo pode produzir chuvas pesadas.

Figura 45.30 –

A classificação internacional de nuvens baseia-se, essencialmente, em 10 grupos principais, denominados **gêneros**, dispostos, de acordo com a altitude da base das nuvens (isto é, da parte mais próxima da superfície da Terra), como no seguinte quadro (ver a figura 45.30):

NUVENS ALTAS (C _H) (6.000 a 10.000 m)	NUVENS MÉDIAS (C _M) (2.000 a 6.000 m)	NUVENS BAIXAS (C _L) (< 2.000 m)
CIRRUS (Ci)	ALTOCUMULUS (Ac)	STRATUS (St)
CIRROCUMULUS (Cc)	ALTOSTRATUS (As)	NIMBOSTRATUS (Ns)
CIRROSTRATUS (Cs)	CUMULUS CONGESTUS – topo	STRATOCUMULUS (Sc)
CUMULONIMBUS (Cb) - topo	CUMULONIMBUS (Cb) - corpo	CUMULUS (Cu)
		CUMULUS CONGESTUS - base
		CUMULONIMBUS (Cb) - base

– NUVENS ALTAS

Os **cirrus (Ci)** são nuvens brancas esparsas, de aparência delicada e fibrosa, dando a impressão de uma textura sedosa. Sua aparência fibrosa e sedosa deve-se ao fato de que são inteiramente constituídas de cristais de gelo. Seus delicados filamentos lembram os rabos de galo. Os **cirrus** aparecem de várias formas, como tufo isolados, linhas compridas e finas através do céu, ou podem estar dispostos em faixas paralelas que cruzam o céu em grandes círculos e parecem convergir em direção a um ponto do horizonte. Isto pode indicar, de modo geral, a direção de uma área de baixa pressão. Os **cirrus** podem aparecer muito brilhantes no nascer do Sol e no ocaso, pois, por causa de sua altitude, tornam-se iluminados antes que outras nuvens, pela manhã; ou permanecem iluminados após as demais, no pôr-do-Sol. **Cirrus** são geralmente associados com bom tempo, mas, se são seguidos por nuvens mais baixas e espessas, podem ser o aviso prévio de chuva, ou neve. As nuvens tipo cirrus com garras (rabos de galo) com acentuado deslocamento na direção do navio são uma boa indicação de mau tempo se aproximando.

Cirrocumulus (Cc) são nuvens delgadas e brancas, em forma de pequenos flocos de aspecto arredondado, compostas quase que exclusivamente de cristais de gelo. Apresentam-se, em geral, associadas aos **cirrus** e **cirrostratus**. Por vezes, os **cirrocumulus** aparecem dispostos de uma forma que dá ao céu uma aparência pedregosa (“céu pedregoso”), conhecida em inglês, como “mackerel sky” (céu de cavala), pois o padrão também lembra as escamas no dorso de um “mackerel”. Tal como os cirrus, os **cirrocumulus** são geralmente associados com bom tempo, mas podem preceder uma tempestade, se se tornarem cinzentos, mais espessos e mais baixos.

Cirrostratus (Cs) são nuvens muito delgadas, transparentes e esbranquiçadas, que têm a aparência de um véu. Às vezes, encobrem o céu total ou parcialmente, dando à abóbada celeste um aspecto leitoso. A cobertura de **cirrostratus** não é suficientemente densa para ocultar o contorno do Sol ou da Lua; no entanto, os cristais de gelo que compõem tais nuvens refratam a luz desses astros, formando halos em sua volta, com o Sol ou a Lua no centro. Os **cirrostratus** podem ser formados por cirrus que se tornaram mais espessos; se continua o aumento de espessura e essas nuvens descem para níveis mais baixos, os cristais de gelo se derretem, passando a gotículas d’água, e as nuvens tornam-se **altostratus**. Quando isto ocorre, pode-se esperar chuva dentro de 24 horas.

– NUVENS MÉDIAS

Os **altocumulus (Ac)** se dispõem em forma de camada, consistindo de nuvens grandes e arredondadas que tendem a juntar-se umas às outras. Podem variar em espessura e em cor, do branco ao cinza escuro, mas aparecem mais ou menos regularmente arranjadas.

Os **altocumulus** são compostos quase que exclusivamente de gotículas d'água. Algumas vezes os **altocumulus** se apresentam em faixas que se parecem com ondas oceânicas, com trechos do céu azul visível entre elas, produzindo uma impressão de “céu encarneirado”. Quando os **altocumulus** se tornam mais espessos e descem para níveis mais baixos, podem produzir chuvas e trovoadas, mas não trazem mau tempo prolongado.

Altostratus (As) são nuvens cinza-azuladas que se apresentam em camadas translúcidas de aspecto estriado, fibroso e uniforme, encobrindo o céu totalmente ou parcialmente. Possuem regiões suficientemente delgadas para deixar passar a luz do Sol ou da Lua. Tais astros, quando vistos através destas nuvens, aparecem como se estivessem brilhando atrás de um vidro semifosco, com uma coroa em torno, sem a formação de halos. Os **altostratus** são compostos de gotículas d'água e cristais de gelo, podendo conter, também, gotas de chuva e lâminas de neve. Se essas nuvens tornam-se mais espessas e descem para níveis mais baixos, ou se **nimbostratus** (ou “nuvens de chuva”) se formam abaixo delas, pode-se esperar chuva contínua (ou neve) dentro de poucas horas.

– NUVENS BAIXAS

Stratus (St) são nuvens baixas e cinzentas, em camadas bastante uniformes, que podem cobrir uma grande extensão do céu, parecendo um nevoeiro. Muitas vezes, a base dessas nuvens está a uma altura não maior que 300 metros (1.000 pés). São constituídos exclusivamente de gotículas d'água, na maioria das vezes. Em muitas ocasiões, a camada de **stratus** torna-se tão densa que permite apenas a passagem de pouca luz do Sol, reduzindo a visibilidade e prejudicando as operações aéreas. Algumas vezes, ventos fortes fragmentam os stratus, dando origem aos “**fractostratus**”. Uma neblina leve pode descer deste tipo de nuvem. Além disso, quando os **stratus** são densos podem produzir chuva ou neve granulada.

Stratocumulus (Sc) são nuvens baixas, cinzentas, de aspecto sedoso e formas arredondadas, que se apresentam em ondas de tal modo próximas entre si que, às vezes, dão ao céu uma aparência ondulada, similar à produzida pelos altocumulus. As camadas de **stratocumulus** movem-se para frente com o vento. Estas nuvens, compostas de gotículas d'água, algumas vezes acompanhadas de gotas de chuva ou grânulos de neve, são o produto final da mudança diária característica que sofrem as nuvens tipo **cumulus**. Os **stratocumulus** são, normalmente, seguidos de céu claro durante a noite.

Nimbostratus (Ns) são nuvens baixas e escuras, sem forma definida, que se apresentam em camadas quase uniformes, algumas vezes com bases irregulares. **Nimbostratus** são nuvens típicas de chuva. A precipitação que cai destas nuvens é contínua ou intermitente, mas nunca de pancadas fortes. Os **nimbostratus** são compostos de gotículas de água, algumas vezes super-resfriadas, e gotas de chuva, cristais e lâminas de neve, ou uma mistura dessas partículas líquidas e sólidas.

– NUVENS DE DESENVOLVIMENTO VERTICAL

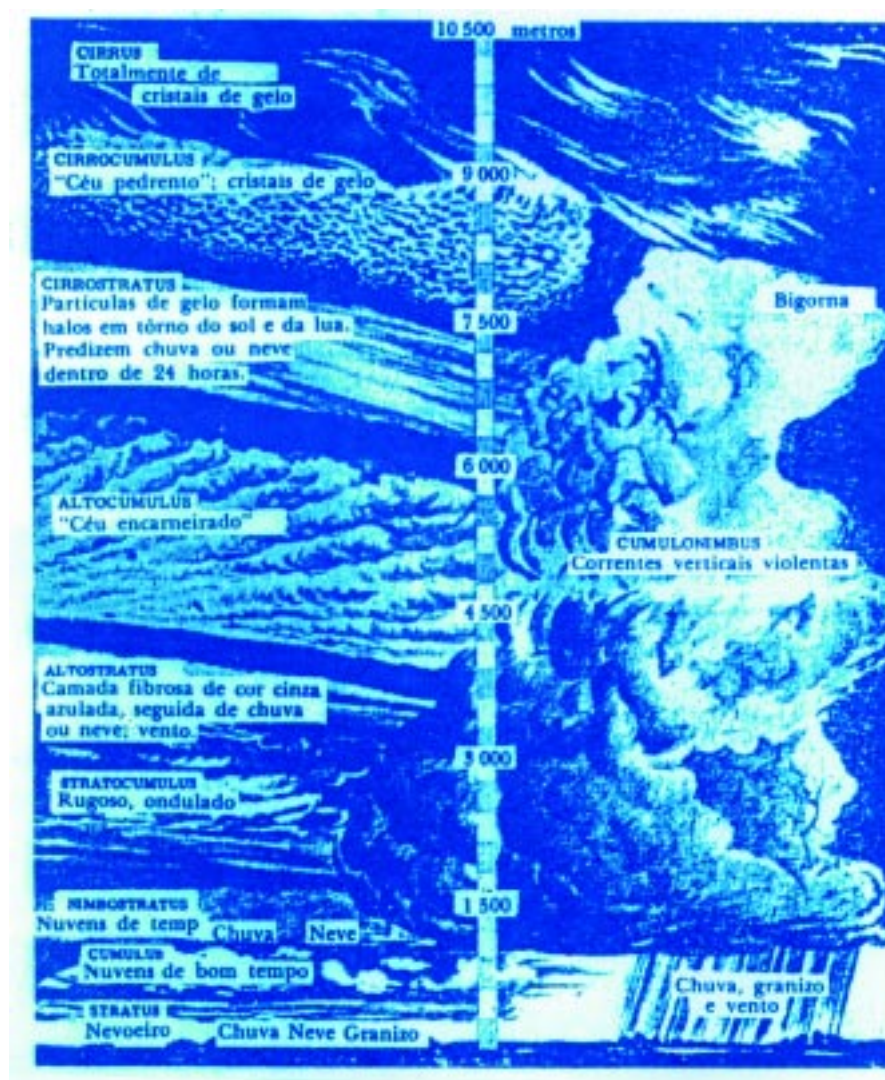
Os **cumulus (Cu)**, como vimos, são nuvens de desenvolvimento vertical, formadas pelo ar ascendente, que é resfriado conforme alcança maiores altitudes. Têm uma base horizontal e um topo com formato de domo, do qual sobressaem protuberâncias, como numa couve-flor. Em geral, apresentam-se isoladas e densas. São formadas por processos mais rigorosos e apresentam, às vezes, enorme desenvolvimento vertical; essa grande quantidade de vapor, água e gelo em constante movimento provoca turbulência na atmosfera.

A nuvem **cumulus** de maior desenvolvimento é o **cumulonimbus (Cb)**. A presença de um Cb na atmosfera pode causar a ocorrência de forte turbulência, gelo, relâmpago,

trovoada, saraiva, precipitação, ventos muito fortes e, em certas áreas, até mesmo tornados e trombas-d'água. As variações de pressão são muito bruscas, tornando as indicações do barômetro e de outros instrumentos de bordo de baixa confiabilidade. A nuvem do tipo **cumulonimbus** constitui um caso especial, pois, tendo grande desenvolvimento vertical, ocupa todos os níveis (baixo, médio e alto). No entanto, deve ser observada como nuvem baixa.

Cirrus, **cirrocumulus**, **altocumulus** e **cumulus** ocorrem em camadas descontinuas, usualmente cobrindo uma parte do céu, sendo chamadas de nuvens de bom tempo, visto que não há ocorrência de chuvas ou ventos fortes associados com elas. Os demais tipos, **cirrostratus**, **altostratus**, **stratocumulus**, **stratus** e **nimbostratus**, formam camadas mais ou menos contínuas, muitas vezes cobrindo todo o céu. Pode ocorrer precipitação de qualquer desses tipos. **Cumulonimbus** e **cumulus congestus** são de grande espessura, sendo que os topos dos **cumulonimbus** se estendem de 3 a 8 km acima de suas bases (figura 45.31), estando associados a chuvas fortes e trovoadas.

Figura 45.31 – Distribuição Vertical Geral dos Tipos de Nuvens



A identificação dos diversos tipos de nuvens requer do navegante uma certa experiência.

O uso das fotografias sobre **CLASSIFICAÇÃO DE NUVENS** incluídas no Apêndice a este Capítulo auxilia muito a identificar o tipo de nuvem observado.

A nebulosidade mais intensa ocorre nas regiões mais quentes, onde a evaporação é mais notável. Na região equatorial, a nebulosidade atinge o valor médio de 6 (seis décimos do céu encoberto); nos trópicos, a média alcança o valor 4 (quatro décimos de céu encoberto) e nas Latitudes temperadas o valor médio é de 5. Nas áreas marítimas, a nebulosidade é mais elevada que nas continentais.

f. VISIBILIDADE: NEVOEIRO E NÉVOA SECA

Define-se **visibilidade meteorológica** como a maior distância em que um objeto de características determinadas pode ser visto e reconhecido. Os seguintes fatores afetam a visibilidade no mar:

- (1) Precipitação;
- (2) névoa e nevoeiro;
- (3) borrifos ou espuma do mar arrastada pelo vento;
- (4) poeira; e
- (5) sal.

1. Precipitação

Os diferentes tipos de **precipitação** serão estudados no item seguinte. A chuva, exceto em pancadas fortes e passageiras, raramente reduz a visibilidade à superfície para menos de 1.500 metros. O chuveiro e a neve, em geral, reduzem a visibilidade em um grau maior que a chuva. Nevadas fortes podem reduzir a visibilidade a zero.

2. Névoa e nevoeiro

A **névoa** e o **nevoeiro**, abaixo estudados, são os fenômenos que reduzem a visibilidade em maior grau. Em um **nevoeiro denso**, a visibilidade, normalmente, cai a zero, ou a um valor próximo de zero.

3. Borrifos ou espuma do mar arrastada pelo vento

Quando ocorrem no mar ventos de força 10 ou acima, na escala Beaufort (velocidade ≥ 48 nós), as espumas se desprendem das cristas das ondas, provocando borrifos que podem reduzir drasticamente a visibilidade, para umas poucas dezenas de metros (50 m ou menos).

4. Poeira

A poeira fina transportada das regiões desérticas afeta a visibilidade no mar nas proximidades destas regiões. A poeira roxa do Saara é comumente observada nas áreas marítimas a oeste da África, até o arquipélago de Cabo Verde. Da mesma forma, as **monções de NE** na China transportam poeira amarela do interior do continente para além do Mar da China.

5. Sal

No mar, partículas de sal são levantadas e introduzidas na atmosfera, podendo reduzir a visibilidade, em uma faixa que varia de 500 a 1.000 metros de altitude.

– NEVOEIRO

Forma-se **nevoeiro** sempre que o ar superficial é levado à condição de saturação, ou melhor, um pouco além da saturação, para que se condense uma quantidade de vapor-d'água suficiente para afetar a visibilidade. Os processos capazes de levar o ar úmido da superfície à saturação e, assim, produzir **nevoeiro** são dois: o **resfriamento** e o **aumento**

da evaporação. O **nevoeiro** é, em síntese, uma nuvem que toca a superfície; uma nuvem cuja base esteja abaixo de 15 m (50 pés) de altura é denominada de **nevoeiro**.

O **nevoeiro** é formado pela condensação do vapor-d'água nas baixas camadas da atmosfera, reduzindo a visibilidade horizontal. É constituído de gotículas d'água minúsculas em suspensão na atmosfera. Seu aspecto é branco leitoso ou acinzentado, caso haja grande concentração de poluentes no ar. Em ambos os casos, pode-se **sentir** a umidade.

Para sua formação, o nevoeiro requer condições especiais, tais como:

- (1) Alta umidade relativa;
- (2) estabilidade atmosférica (ausência de correntes verticais);
- (3) resfriamento conveniente;
- (4) presença de núcleos de condensação; e
- (5) ventos fracos de superfície.

Como vimos, há semelhança entre nuvens baixas e nevoeiro. A diferença é que a base do nevoeiro está a menos de 15 metros da superfície, enquanto que a base de uma nuvem baixa estará em uma altura maior. Com a ocorrência de ventos fortes, ou pelo aquecimento, o nevoeiro se dissipa, ou pode ocorrer sua ascensão, formando uma nuvem tipo **stratus**.

O nevoeiro diminui a visibilidade para menos de 1 km; no caso de nevoeiro denso, a visibilidade pode ser reduzida a zero. Logo que for observada a ocorrência de nevoeiro, é necessário pôr em prática as medidas de segurança para navegação sob visibilidade restrita, especialmente aquelas estabelecidas pelos regulamentos internacionais, como o RIPEAM (Regulamento Internacional para Evitar Abalroamento no Mar).

O **nevoeiro** é formado quando o vapor-d'água existente na atmosfera se condensa, seja como resultado do resfriamento do ar ou do acréscimo ao seu teor de vapor-d'água, o que, por sua vez, conduz à seguinte classificação:

– **Nevoeiros de resfriamento** (ocorrem devido ao resfriamento do ar à superfície, pelo oceano ou pelo terreno subjacente).

O **resfriamento** pode ser produzido das seguintes maneiras:

- (a) Por contacto com o solo resfriado durante a noite (**nevoeiro de radiação**);
- (b) por contacto do ar quente e úmido em movimento com uma superfície (solo ou mar) mais fria, sobre a qual se desloca (**nevoeiro de advecção**); e
- (c) por ascensão adiabática do ar que se desloca, subindo por um terreno elevado (**nevoeiro orográfico** ou **de encosta**).

– **Nevoeiros de evaporação** (ocorrem devido ao aumento de evaporação, que tende a elevar a umidade relativa, provocar a saturação do ar à superfície e a condensação do vapor-d'água, com a conseqüente formação de nevoeiro).

O **aumento da evaporação** pode se dar por:

- (a) Evaporação de uma chuva quente em ar mais frio (**nevoeiro frontal**); e
- (b) evaporação de um mar mais quente em ar mais frio (**nevoeiro de vapor**).

– NEVOEIROS DE RESFRIAMENTO

A mais freqüente e decisiva causa de formação de nevoeiro é o resfriamento do ar, em contacto com a superfície.

• Nevoeiro de radiação

O **nevoeiro de radiação** é formado pelo ar úmido em contacto com a superfície da Terra, que foi submetida a um resfriamento noturno por radiação. Em noites claras e calmas, o solo perde calor muito rapidamente. O ar em contacto com o solo é resfriado por condução, a umidade relativa aumenta e ocorrem saturação e condensação, formando-se nevoeiro nas camadas próximas da superfície. Os **nevoeiros de radiação** não se formam normalmente sobre o mar, pois a superfície da água não sofre um grande resfriamento por radiação à noite. Porém, um vento que sopra de terra para o mar poderá transportar o **nevoeiro de radiação** para áreas marítimas costeiras, criando uma situação perigosa para a navegação, especialmente para embarcações que se aproximam da costa, vindas de uma área de boa visibilidade e, de repente, deparando-se com um banco espesso de nevoeiro.

O **nevoeiro de radiação** é, então, o tipo mais comum de nevoeiro terrestre, ou continental, pois no mar o resfriamento noturno é muito pequeno. Forma-se, normalmente, à tardinha ou de madrugada.

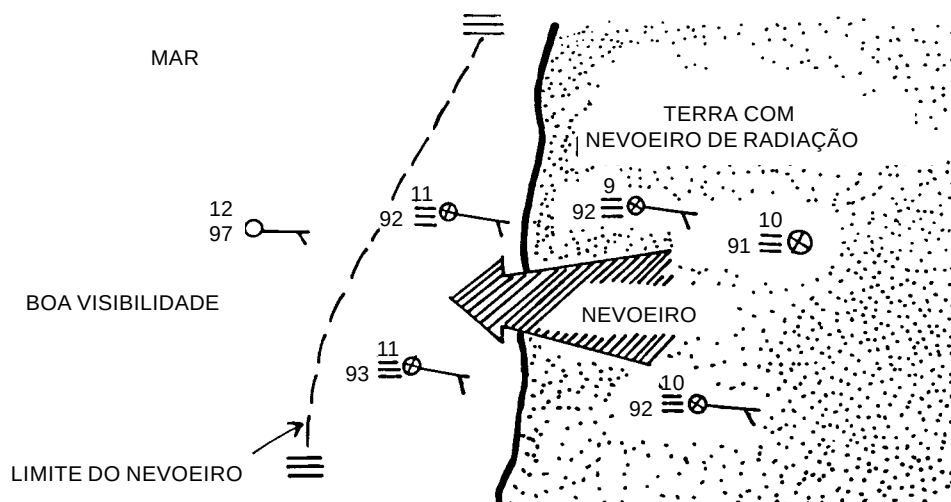
O nevoeiro de radiação forma-se nos lugares úmidos, normalmente após dia e noite límpidos, se o vento não é forte e o ar é estável. Essas condições são frequentes nos **anti-ciclones**. Ele começa a se dissipar à medida que os raios solares aquecem o solo, que, por sua vez, aquece o ar adjacente por condução. Como os demais nevoeiros, quando o vento se intensifica, tende a se dissipar, ou se elevar, tornando-se uma nuvem baixa.

Então, as condições favoráveis para a formação de **nevoeiro de radiação** são:

- (1) Ar calmo, ou quase calmo;
- (2) céu claro; e
- (3) alta umidade relativa.

A figura 45.32 mostra um **nevoeiro de radiação** formado sobre terra sendo conduzido para uma área marítima costeira, por um vento que sopra de terra para o mar, afetando a visibilidade na referida área.

Figura 45.32 – Nevoeiro de Radiação Formado em Terra e que se Desloca para o Mar



• Nevoeiro de advecção

O **nevoeiro de advecção** é formado pelo ar úmido e quente deslocando-se sobre uma superfície mais fria. É muito comum ao longo das regiões costeiras e sobre o mar. É

produzido pelo resfriamento das camadas mais baixas do ar úmido e quente, quando este se move sobre uma superfície mais fria. O resfriamento das massas de ar em movimento depende da diferença de temperatura entre elas e a superfície sobre a qual deslizam. No inverno, este tipo de nevoeiro ocorrerá quando o ar dos oceanos, mais quente e úmido, invade os continentes frios. Por outro lado, no verão, água fria ao longo dos continentes frequentemente produz **nevoeiro de advecção** no mar, quando o ar quente e úmido desloca-se da terra para o oceano. O **nevoeiro de advecção** é o tipo de nevoeiro mais freqüente no mar, sendo comum em Latitudes mais altas no verão, quando os ventos de Latitudes mais baixas carregam o ar úmido e quente sobre águas progressivamente mais frias. Assim, tais nevoeiros são comuns sobre as correntes marítimas frias, como a Corrente do Labrador, durante as invasões de ar quente. Também ocorrem no Golfo do México, durante o inverno, devido às águas frias do Mississippi, vindas do Norte.

Para haver **nevoeiro de advecção** é necessário haver vento, para deslocar o ar quente e úmido para regiões mais frias. No entanto, o vento não pode ser forte, pois isto favorece a mistura vertical de ar. Na prática observa-se que, quando a velocidade do vento passa de aproximadamente 15 nós, a turbulência resultante geralmente eleva o nevoeiro, formando-se, então, as nuvens **stratus**.

A previsão do **nevoeiro de advecção** consiste em estabelecer a trajetória do ar quente e úmido e estudar o resfriamento que este sofre em seu deslocamento. O **nevoeiro de advecção** pode ser muito denso e persistir por longos períodos. Na previsão do nevoeiro de advecção atentar, também, para que haja as seguintes condições propícias: o mar seja bem mais frio que o ar; o ar se desloque sobre isotermas cada vez mais frias, com velocidade moderada (vento moderado); elevada umidade relativa e grande estabilidade atmosférica.

· **Nevoeiro orográfico ou nevoeiro de encosta**

O **nevoeiro orográfico** é formado pelo ar úmido que se resfria devido à expansão que sofre quando se move para cima, deslocando-se ao longo de uma encosta ou montanha. Se este resfriamento for suficiente para saturar o ar e produzir a condensação, forma-se o **nevoeiro orográfico**. Um vento encosta acima é necessário para formação e manutenção deste tipo de nevoeiro. Como ocorre com os outros tipos, quando o vento se torna bastante forte, o nevoeiro se eleva, tornando-se uma nuvem **stratus**.

– NEVOEIROS DE EVAPORAÇÃO

Se a evaporação for suficiente para aumentar a umidade relativa até tornar o ar saturado e houver núcleos de condensação na atmosfera, ocorrerá a condensação do vapor-d'água existente no ar e a conseqüente formação do nevoeiro.

Os **nevoeiros de evaporação** dividem-se em **nevoeiros frontais** e **nevoeiros de vapor** (“steam fog”).

· **Nevoeiros frontais**

Uma **frente**, como veremos, é a superfície de contacto entre duas massas de ar, uma quente e outra fria. O ar quente, sendo mais leve, subirá, resfriando-se adiabaticamente e provocando condensação do vapor-d'água nele existente e precipitação. As gotas de chuva, provenientes do ar quente superior, estão mais aquecidas que a camada de ar frio

superficial sob a frente; assim, a precipitação do ar quente invasor se evapora quando cai através do ar frio e o satura, formando nevoeiro. Os **nevoeiros frontais** ocorrem freqüentemente no **inverno** e, em geral, estão associados com **frentes quentes**. Ocasionalmente, formam-se em frentes frias ou estacionárias. Os **nevoeiros frontais** formam-se rapidamente e muitas vezes cobrem extensas áreas. O **nevoeiro frontal** só se forma quando a temperatura da água que se precipita do ar quente é muito maior do que a do ar frio sob a frente. Isso significa que este tipo de nevoeiro ocorre apenas em conexão com frentes bastante intensas. A figura 45.33 mostra um esquema de nevoeiro frontal.

PORTO DO RIO DE JANEIRO			
Mês	Temperatura Média	Temperatura da Água do Mar	Nevoeiro
MAIO	23.5° C	24.0° C	10.2%
JUNHO	22.6° C	23.0° C	12.0%
JULHO	21.8° C	22.0° C	10.1%

– **nevoeiros fracos ou leves**: quando a visibilidade varia de 100 m até 1 km de distância do observador.

Quando o fenômeno tem a aparência de um nevoeiro muito fraco e a visibilidade horizontal, embora reduzida, é ainda maior que 1 km (variando, normalmente, entre 1 e 2 km), é denominado de **névoa úmida** ou **neblina**. A **névoa úmida** apresenta uma grande quantidade de matéria sólida em suspensão no ar (poluentes atmosféricos), em relação às gotículas d'água, que são minúsculas e mais dispersas.

– PREVISÃO DE NEVOEIROS

Para previsão de nevoeiros, os navegantes poderão adotar o seguinte procedimento:

(a) Medir a **temperatura do ar**, ou **temperatura do termômetro seco (Ts)**, e a **temperatura do termômetro úmido (Tu)**;

(b) com as temperaturas acima, extrair das tabelas ou diagramas apresentados a **temperatura do ponto de orvalho (Td)** e a **umidade relativa (U%)**;

(c) medir a **temperatura da água do mar** à superfície; e

(d) se a diferença entre a **temperatura do ponto de orvalho** e a **temperatura da água do mar** for de aproximadamente 1°C (mar aberto) ou 2°C (litoral), e a **umidade relativa** for igual ou superior a 95%, as condições são favoráveis para formação de nevoeiro (o nevoeiro só se formará se forem encontradas estas condições).

– NÉVOA SECA

Nevoa seca é a concentração de minúsculas partículas secas, de poeira ou de sal, no ar atmosférico, muito pequenas para serem individualmente distinguidas, mas em número suficiente para reduzir a visibilidade horizontal e projetar um véu azulado ou amarelado sobre a paisagem, mascarando suas cores e fazendo com que os objetos apareçam de forma indistinta, mal definidos. A **névoa seca** apresenta uma tonalidade diferente, de acordo com a paisagem associada. Apresenta uma tonalidade azul-chumbo, quando vista na direção de um fundo escuro (serras, cidades, etc.); porém, torna-se amarela ou alaranjada, quando vista de encontro a um fundo claro (Sol, nuvens no horizonte). A umidade está sempre abaixo de 80%, porque não existe, em suspensão, água em quantidade considerável.

Como o nevoeiro, a **névoa seca** é encontrada na atmosfera estável. Por outro lado, como se conclui de seu nome, difere, essencialmente, do nevoeiro, por se formar exclusivamente quando a umidade relativa é pequena. Enquanto o nevoeiro, normalmente, tem pequena extensão vertical, a **névoa seca** pode apresentar uma grande espessura.

A **fumaça** no ar também pode afetar a visibilidade horizontal, nas proximidades de sua fonte de origem. Para que a fumaça venha a figurar como estado de tempo, é necessário que haja estabilidade atmosférica e o vento esteja fraco. A **fumaça** é dissipada com pequeno aumento da velocidade do vento; no entanto, sua presença no ar significa uma condição excelente para que se forme um nevoeiro denso, pois as partículas de carbono em suspensão na atmosfera são ótimos **núcleos de condensação**.

O “**smog**” (“**smoke**” + “**fog**”) é uma mistura de fumaça e nevoeiro, que também afeta a visibilidade. É um caso especial em que a umidade relativa não é tão baixa como na névoa seca, nem tão alta como no nevoeiro ou na neblina. A umidade relativa de 100% é uma situação de equilíbrio quando a água é pura, e a ela é referida. Se a água contida na atmosfera não for pura, pela presença de impurezas, pode ocorrer a saturação do ar com menos de 100% de umidade relativa, dando origem ao “**smog**”.

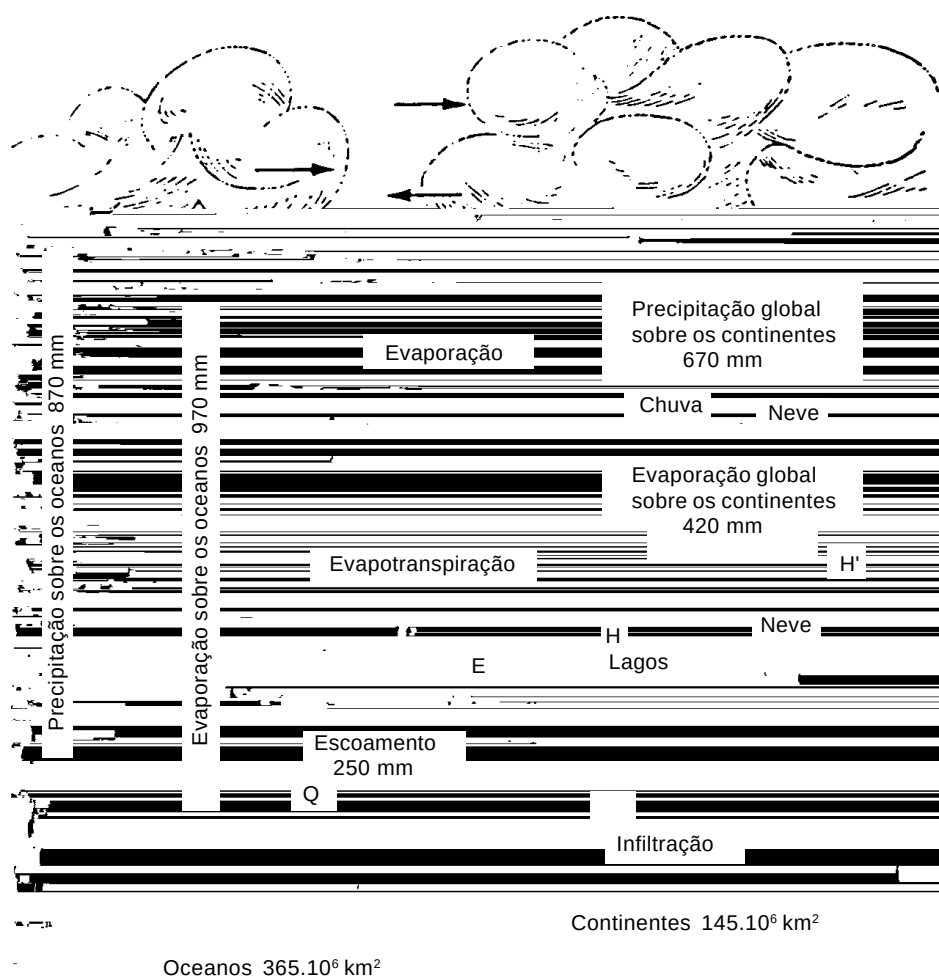
g. PRECIPITAÇÃO

Denomina-se **precipitação** à descida de uma parcela do ar atmosférico sob a forma líquida e/ou sólida para níveis inferiores. Pode ocorrer sob a forma de chuva, chuveiro ou garoa, neve, granizo ou saraiva, ou uma combinação deles. Nem toda **precipitação** atinge a superfície terrestre, pois parte dela evapora-se em seu caminho descendente, ao encontrar maiores pressões e temperaturas. Todas as formas de precipitação podem reduzir a visibilidade, até um grau que torne perigosa a operação de navios e aeronaves.

A precipitação ocorre quando o tamanho e o peso das gotas d'água, das partículas e cristais de gelo, ou flocos de neve, são suficientes para romperem o equilíbrio entre a força da gravidade e as correntes de ar ascendentes. A precipitação líquida pode ser classificada como chuva e chuveiro ou garoa; a precipitação sólida como neve, granizo e saraiva. A precipitação também pode ser classificada como contínua, intermitente e em pancadas (esta última situação ocorre com nuvens Cumuliformes).

A precipitação constitui uma etapa do ciclo da água na natureza (figura 45.34).

Figura 45.34 – Ciclo da Água na Natureza



De maneira diferente da garoa, chuva, neve ou granizo, que se formam no ar e caem em direção à superfície terrestre, o **orvalho** e a **geada** se formam diretamente sobre o terreno. O **orvalho** é a condensação direta sobre o solo, que ocorre geralmente durante a noite, quando a superfície da Terra se resfria por radiação. O **orvalho** é constituído

de gotículas d'água numerosas e pequenas, que se depositam principalmente sobre as folhas, as flores e todas as partes baixas das plantas, em particular durante as noites de verão. Quando ocorre um resfriamento súbito do solo, durante a noite, há, em consequência, a condensação da umidade existente nas camadas atmosféricas em contato com ele e, também, da transpiração que as plantas exalam, sob a forma de vapor-d'água, dando origem ao **orvalho**. A ausência de vento favorece o processo. Além disso, o orvalho se forma em estepes secas próximas à costa, onde a brisa do mar coloca uma estreita camada de umidade durante o dia, que se condensa com o frio da noite.

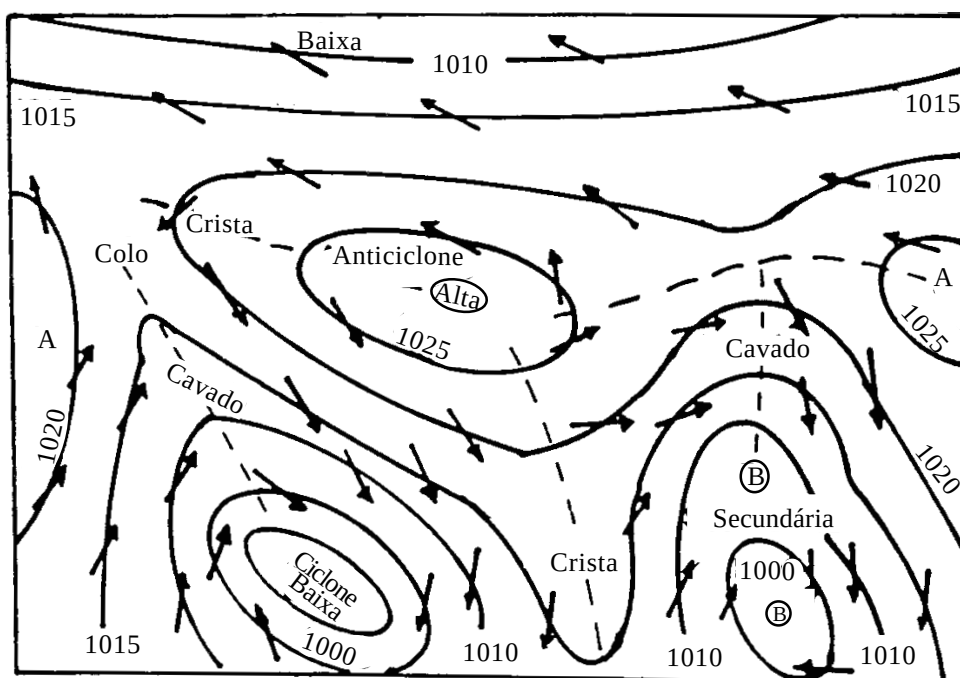
A **geada** é constituída por cristais de gelo e ocorre da mesma forma que o orvalho, só que aqui o vapor-d'água se transforma diretamente em cristais de gelo. Assim, a **geada** tem a mesma origem que o orvalho comum, sendo provocada pela presença, nas camadas atmosféricas em contato com o solo, de uma certa quantidade de umidade, que se forma com a ajuda da transpiração vegetal, e de um brusco resfriamento, quando a temperatura ambiente atinge valor inferior a 0°C. A **geada** se forma durante as noites límpidas e sem vento, quando o vapor-d'água transforma-se em agulhas de gelo.

45.3 FENÔMENOS METEOROLÓGICOS BÁSICOS: CICLONES (DEPRESSÕES) E ANTICICLONES; MASSAS DE AR E FRENTES

a. CICLONES (DEPRESSÕES) E ANTICICLONES

Como vimos, as **isóbaras** são linhas que unem os pontos que têm o mesmo valor de pressão ao nível do mar. As **isóbaras** traçadas numa **carta meteorológica de superfície** definem uma **configuração isobárica**, onde podem ser identificados os sistemas de **altas pressões (anticiclones)** e os sistemas de **baixas pressões (ciclones)**. Na figura 45.35 são mostrados alguns sistemas típicos de pressão e de ventos para o Hemisfério Sul.

Figura 45.35 – Sistemas de Pressão e Direções do Vento para o Hemisfério Sul



Quanto mais estreito for o espaçamento entre as isóbaras, maior será o gradiente de pressão e, portanto, maior será a velocidade do vento. Conforme sabemos, os ventos não sopram paralelos às isóbaras, formando com elas ângulos de 20° a 30° para o lado dos **centros de baixa pressão**. Num **anticiclone**, o ângulo dos ventos com as isóbaras é maior e sempre para o lado de fora do centro de alta.

Os **anticiclones** são regiões de **altas pressões**. A pressão é máxima no centro, que está circundado por isóbaras fechadas. Ventos fracos e tempo bom ocorrem próximo ao centro do **anticiclone**. A circulação nos **centros de alta pressão**, no Hemisfério Sul, é divergente e no sentido anti-horário (figuras 45.36 e 45.37 a). No Hemisfério Norte, a circulação anticiclônica efetua-se no sentido horário (figura 45.37 b). Uma **crista** é uma área alongada de alta pressão (ver as figuras 45.35 e 45.38).

A **crista** caracteriza-se pelo alongamento das isóbaras de um centro de alta pressão em determinada direção (ao longo do eixo da crista). A saliência é mais pronunciada conforme as isóbaras se afastam do centro de alta, na direção da periferia. Quando a crista é bem pronunciada, constata-se a circulação de ar quente para regiões mais frias e, normalmente, a ocorrência de **frente quente**. Por esta razão, é importante a identificação das regiões onde ocorrem cristas. O **eixo da crista** está sempre apontando para a direção das altas latitudes, ou seja, para o norte no HN e para o sul no HS (ver a figura 45.35).

Figura 45.36 – Circulação Anticiclônica no Hemisfério Sul: Divergente e no Sentido Anti-horário

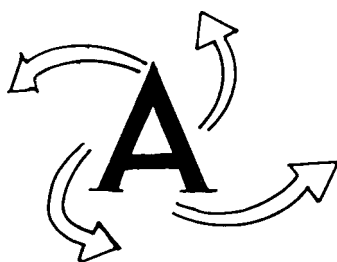


Figura 45.37 – Circulação Anticiclônica no Hemisfério Sul e no Hemisfério Norte

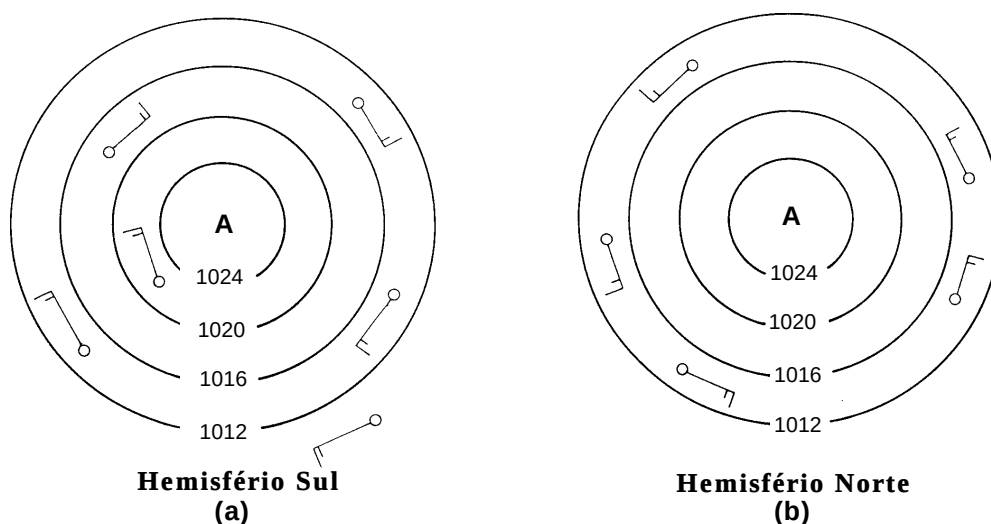
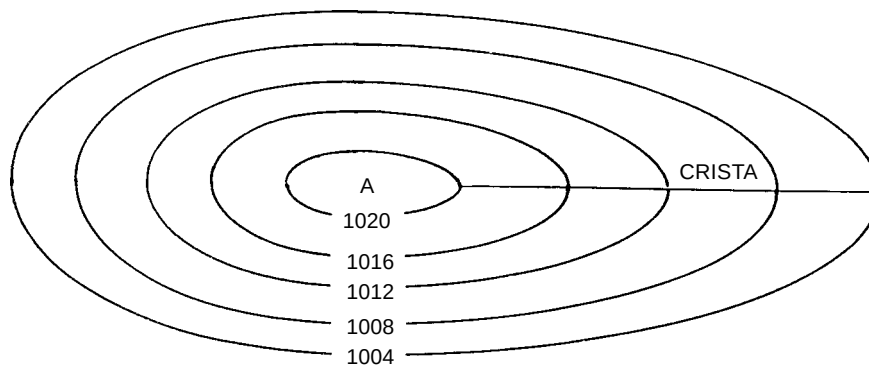


Figura 45.38 – Crista (Área Alongada de Alta Pressão)

Um **ciclone** é uma depressão barométrica, delimitada por uma série de isóbaras ovais ou quase circulares, que envolvem uma área de pressões baixas, isto é, uma área onde as pressões decrescem da periferia para o centro. A circulação nos **centros de baixa pressão**, no Hemisfério Sul, é convergente e no sentido horário (figuras 45.39 e 45.40 a). No Hemisfério Norte, a circulação ciclônica efetua-se no sentido anti-horário (figura 45.40 b). Um **cavado** é uma configuração típica dos ciclones, em que uma cunha de baixas pressões afasta-se do centro da depressão; no eixo do **cavado** as isóbaras estão mais distantes do centro de baixa pressão do que nas demais direções (figuras 45.35 e 45.41).

A saliência é mais pronunciada conforme as isóbaras se afastam do centro de baixa. Quando o **cavado** é bem acentuado, constata-se a circulação de ar frio para regiões mais quentes e, normalmente, a ocorrência de **frente fria**. Por esta razão, é importante, na análise de cartas sinóticas de pressão à superfície e de imagens de satélites meteorológicos, a identificação das regiões onde ocorrem cavados. O **eixo dos cavados** está sempre voltado para o Equador (ver as figuras 45.35 e 45.41).

Uma **garganta** é a região que separa duas **depressões** e dois **anticiclones**. O colo da **garganta** localiza-se na interseção do eixo de um cavado e do eixo de uma crista (figuras 45.35 e 45.42). Ao atravessar uma **garganta**, o gradiente de pressão muda de sentido gradualmente; como consequência, o vento ali é fraco e de direção variável.

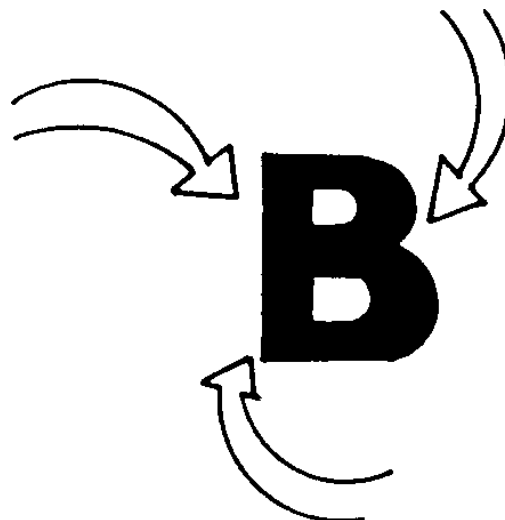
Figura 45.39 – Circulação Ciclônica no Hemisfério Sul: Convergente e no Sentido Horário

Figura 45.40 – Circulação Ciclônica no Hemisfério Sul e no Hemisfério Norte

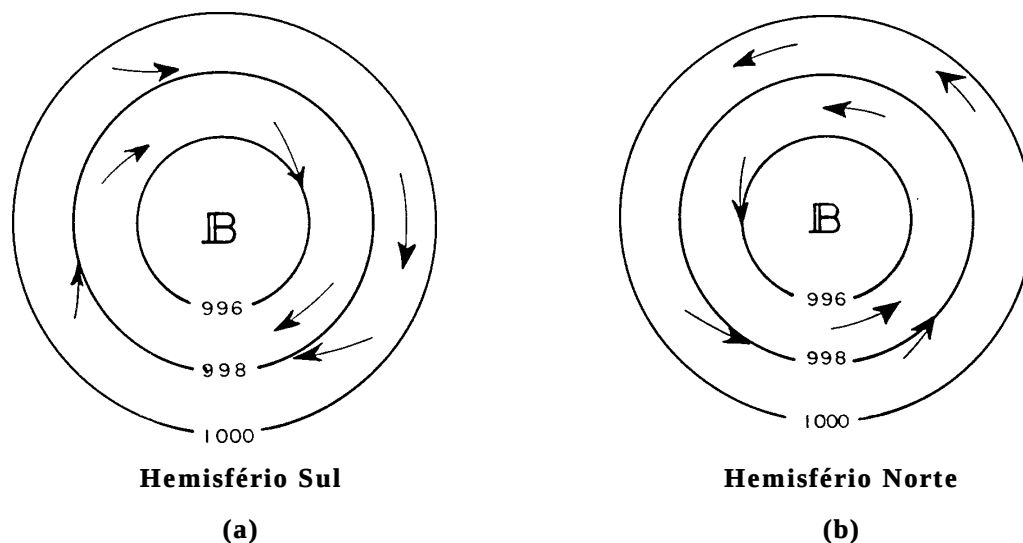


Figura 45.41 – Configuração de um Cavado (Área Alongada de Baixas Pressões)

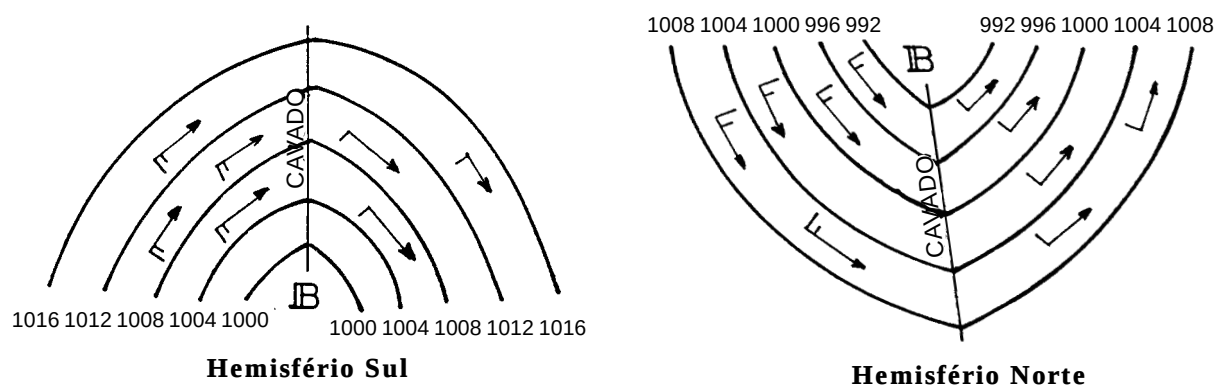
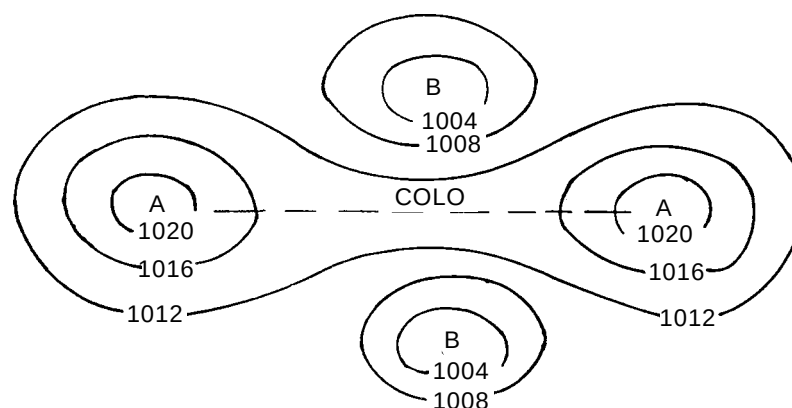


Figura 45.42 – Configuração de um Sistema de Pressão Típico de uma Garganta



O **mau tempo**, em qualquer parte do globo, está quase sempre associado a uma convergência de ventos, ou seja, a um **ciclone** ou **depressão**. Os ciclones são divididos, conforme a região em que se formam, em **ciclones tropicais**, que representam o mais impressionante fenômeno que se forma na atmosfera, como visto no Capítulo 42, e **ciclones extratropicais** ou **depressões extratropicais**, que estudaremos a seguir.

b. DEPRESSÕES EXTRATROPICAIS

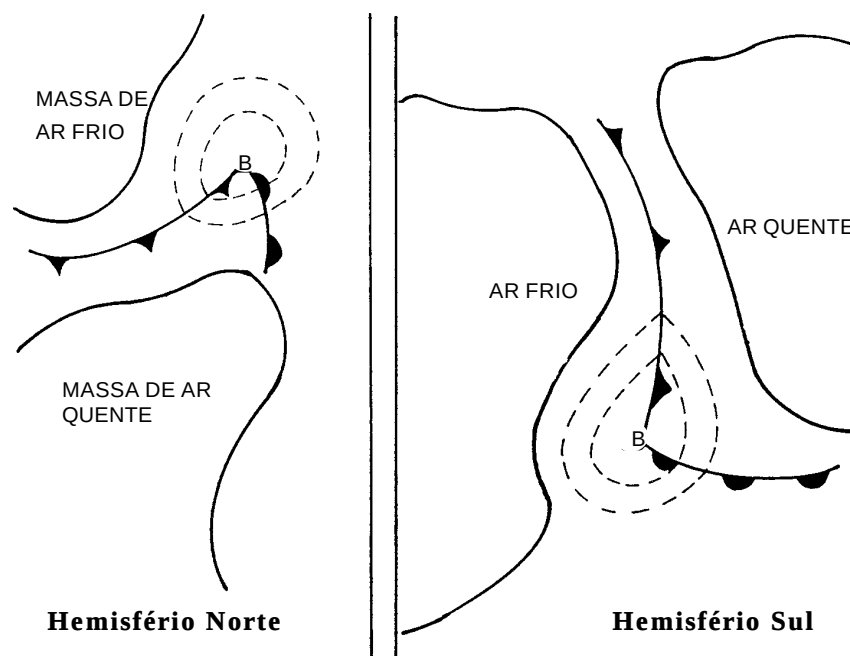
São as **depressões** ou **ciclones** que se formam fora das regiões tropicais. Os **ciclones extratropicais** acham-se associados com os movimentos da **frente polar** na direção do equador e, normalmente, se originam longe dos trópicos, numa zona conhecida como área de ciclogênese ou região frontogenética, em ambos os hemisférios.

A **frente polar**, como vimos, é a interseção com o globo terrestre da superfície de separação entre os ventos **Estes Polares** (que sopram de NE no Hemisfério Norte e de SE no Hemisfério Sul, transportando ar frio e seco das regiões fríasidas) e os **ventos predominantes de Oeste** (que sopram de SW no Hemisfério Norte e de NW no Hemisfério Sul, transportando ar mais quente e úmido das regiões subtropicais). Esta linha muda constantemente de forma e de posição, em consequência da instabilidade do ar nas suas vizinhanças. É sobre a **frente polar** que se geram as **depressões extratropicais** ou **depressões das zonas temperadas**.

– FORMAÇÃO DAS DEPRESSÕES EXTRATROPICAIS

A condição essencial para a formação de uma **depressão extratropical** é a existência de massas de ar quente e frio adjacentes (figura 45.43). A junção dessas massas de ar de temperaturas e umidades diferentes, deslocando-se em sentidos opostos, é que dará origem aos **ciclones extratropicais**.

Figura 45.43 – Formação de uma Depressão Extratropical



O processo de formação e o ciclo de vida de um **ciclone extratropical** podem ser explicados do seguinte modo:

– Quando as duas massas de ar em contacto não diferem muito em **temperatura** e **umidade**, mantém-se entre elas um estado de equilíbrio, que dá à **frente polar** um carácter estável. Neste caso, as isóbaras são aproximadamente paralelas à frente polar, de um lado e de outro, com os ventos em ambos os lados da frente soprando paralelos a ela, como mostrado na condição inicial da figura 45.44 (**A**);

– pequenas perturbações nesse estado de relativo equilíbrio, como um aquecimento local desigual e terreno irregular provocam desequilíbrio de pressões, que podem dar início a uma curvatura tipo onda na frente (situação **B** da figura 45.44). Então, a frente deforma-se e um sistema ciclónico de ventos entra em formação;

– se esta tendência persiste e a onda aumenta em amplitude, em consequência do desequilíbrio das duas massas de ar adjacentes, uma língua de **ar subtropical** penetra na zona de **ar frio**; subsequente, o ar frio avança por trás e por baixo do ar quente, resultando na deformação da frente polar e das isóbaras e estabelecendo uma **circulação ciclônica** (no sentido horário no Hemisfério Sul e no sentido anti-horário no Hemisfério Norte). Uma seção da frente começa a se mover como uma **frente quente**, enquanto a seção adjacente começa a se deslocar como uma **frente fria** (**C**, figura 45.44). Esta espécie de deformação é denominada **onda frontal**;

– no pico da onda frontal, na ponta da língua ou setor de ar quente, forma-se um **centro de baixa pressão**. A circulação ciclônica torna-se mais intensa e as componentes dos ventos perpendiculares às frentes são agora bastante fortes para deslocá-las, com a **frente fria** movendo-se mais rapidamente que a **frente quente** (**D**, figura 45.44);

– a **depressão** evolui e entra em sua fase ativa, distinguindo-se as frentes fria e quente, sobre as quais incidem, respectivamente, o ar frio (vindo de Latitudes elevadas) e o ar subtropical, mais quente. A frente fria avança por baixo do ar quente, que vai subindo na atmosfera; a língua ou setor quente alonga-se e se estreita. Quando a **frente fria** alcança a **frente quente**, as duas são ditas oclusas (fecham-se juntas) e o processo, ou resultado, é chamado de **oclusão** (**E**, figura 45.44). A **depressão**, então, está no apogeu;

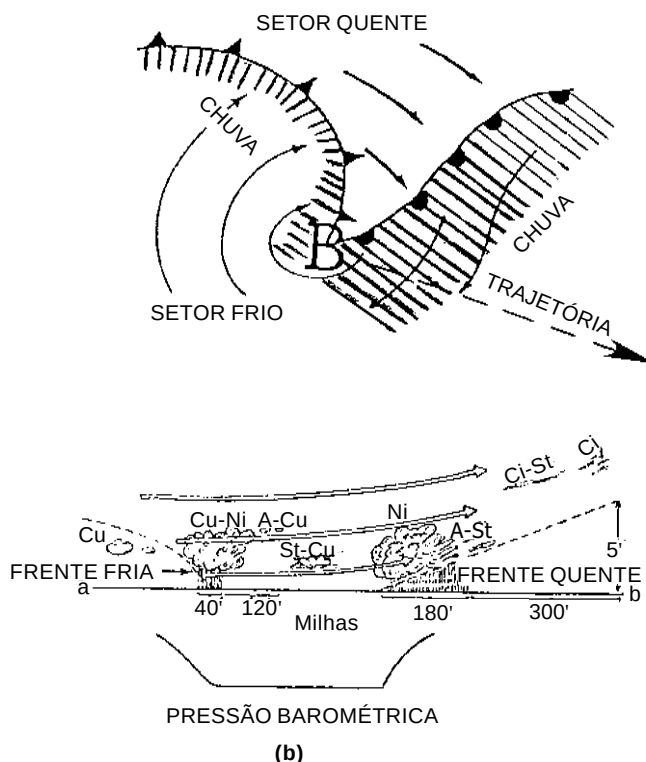
– quando a oclusão continua a se estender, a língua de ar quente desaparece, a circulação ciclônica diminui de intensidade, o **centro de baixa pressão** se enfraquece e o movimento frontal se retarda (**F**, figura 45.44). A **depressão** desfaz-se em seguida e o equilíbrio de temperaturas e pressões tende a se restabelecer. A velocidade do vento diminui e a chuva desaparece; e

– algumas vezes, uma nova onda frontal pode começar a se formar ao longo da porção de oeste da frente fria. No estágio final, as duas frentes se tornam outra vez uma única **frente estacionária**. O **centro de baixa** com seu remanescente da oclusão terá desaparecido (**G**, figura 45.44).

– CONDIÇÕES DE TEMPO ASSOCIADAS ÀS DEPRESSÕES EXTRATROPICAIS

O ciclo de vida de uma **depressão extratropical** estende-se, normalmente, por 5 ou 6 dias, atingindo a maior violência ao fim de 1 dia após a sua formação. O **centro de baixa** desloca-se de Oeste (**W**) para Leste (**E**), seguindo a direção do vento no setor quente, isto é, no Hemisfério Sul move-se na direção **ESE** (figura 45.45) e no Hemisfério Norte na direção **ENE**. A velocidade de translação da depressão regula, em média, de 20 a 30 nós. A depressão desloca-se inicialmente devagar, mas aumenta de velocidade quando entra em sua fase mais ativa. Por fim, move-se lentamente de novo. A violência das depressões é variável; via de regra, as baixas barométricas profundas originam ventos tempestuosos, as outras podem apenas causar ventos moderados. A área de uma depressão atinge, normalmente, de 500 a 1.000 milhas.

Figura 45.45 – Depressão na Fase Ativa (Hemisfério Sul)



Em geral, nas Latitudes médias, especialmente durante o inverno, observam-se ventos fortes e tempestuosos associados aos ciclones extratropicais. Atrás de uma frente fria há uma depressão em de-

A navegação na costa do Brasil e no Atlântico Sul geralmente passa ao norte da região de ciclogênese, onde nascem as depressões extratropicais. Neste caso, a passagem do fenômeno será observada a bordo na ordem a seguir indicada (ver a figura 45.45):

– **Antes da passagem da frente quente:** vento moderado de **NE**, rondando para **N** e **NW**, com aumento de força; baixa contínua do barômetro; temperatura elevada, aumentando progressivamente; visibilidade regular; extensas camadas de nuvens formadas por **cirrus**, **cirrostratus**, **altostratus** e, finalmente, **nimbostratus**; chuva numa zona de cerca de 180 milhas de largura;

– **passagem da frente quente:** vento **N** e **NW**; aumento de temperatura e de umidade; pequena queda do barômetro; deixa de chover; a visibilidade diminui;

– **setor quente:** vento **NW**; podendo alcançar força 6 a 8 (40 nós); barômetro estacionário; temperatura elevada e alta umidade relativa; nevoeiros freqüentes; nebulosidade menor, com **stratus** e **stratocumulus**. Depois, quando se aproxima a frente fria, aumento de nebulosidade, principalmente com **altocumulus**;

– **passagem da frente fria:** salto do vento **NW** para **SW**; subida brusca do barômetro e descida rápida da temperatura; diminuição da umidade relativa; nuvens tipo **cumulonimbus** (Cb); aguaceiros e trovoadas numa zona de cerca de 40 milhas de largura; boa visibilidade no intervalo dos aguaceiros; e

– **depois da passagem da frente fria:** o tempo melhora; vento **SW**; chuva intermitente; boa visibilidade; **cumulus** de bom tempo.

Estas fases do estado do tempo ocorridas na passagem de uma depressão poderão suceder-se com relativa rapidez se o navio navegar de **E** para **W**, isto é, em sentido contrário ao da trajetória do centro de baixa pressão.

Uma frente oclusa produz aguaceiros e salto do vento para **SW**.

No caso de o navio, navegando em Latitudes elevadas do Hemisfério Sul, passar ao sul do centro da depressão, o vento rondará de **E** para **S** e **SW**. A temperatura não sofrerá grande variação e o barômetro cessa de descer, para subir lentamente.

Algumas vezes, uma depressão, já depois de muito enfraquecida, se regenera e reintensifica. Outras vezes, os ciclones extratropicais não aparecem isolados, ocorrendo uma série de quatro a seis, sucessivamente mais novos, constituindo uma **família de baixas**. Cada uma delas nasce, em regra, ao norte daquela que segue à sua frente.

Pode, também, ocorrer a formação de uma pequena depressão circular subsidiária da principal, geralmente produzida por deformação das isóbaras do lado equatorial. É a chamada **depressão secundária**, a qual produz, normalmente, muita chuva. O vento sopra por vezes com violência, sem grande variação do barômetro. A trajetória da **depressão secundária** é variável; geralmente, esta depressão move-se no mesmo sentido da depressão principal, isto é, de **W** para **E**; algumas vezes, a **depressão secundária** gira em torno da depressão principal.

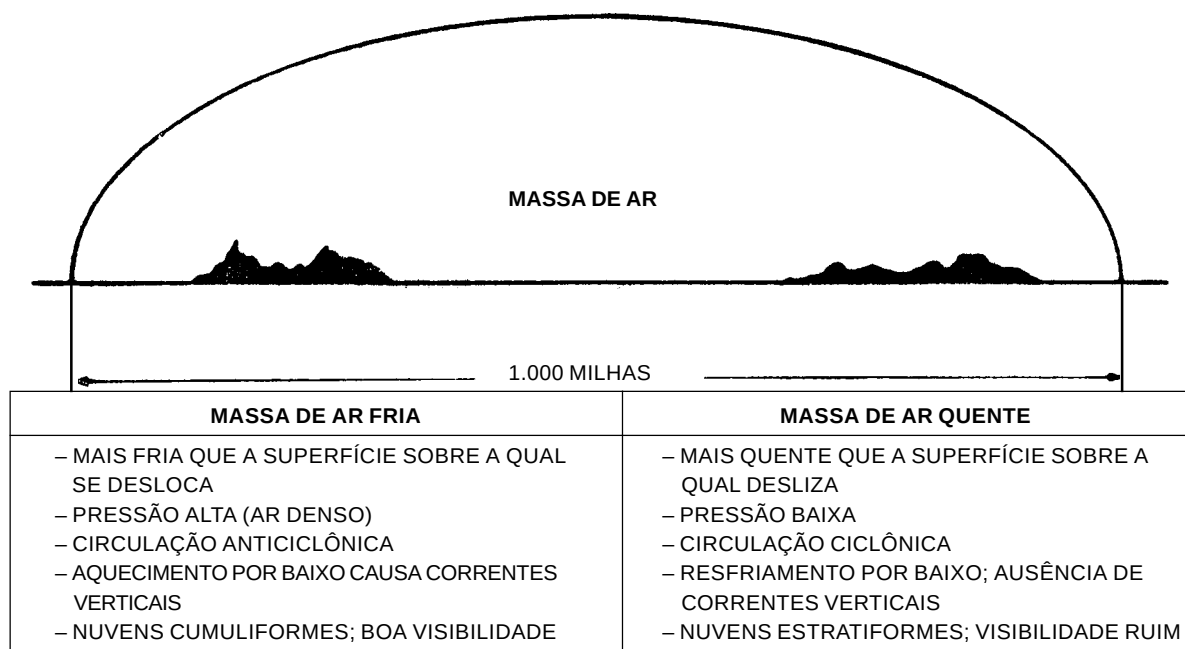
Como vimos, uma configuração que pode ocorrer em uma depressão é a formação de um **cavado**, onde as isóbaras tomam a forma de **V** (figura 45.41), constituindo a denominada **depressão em V**, que se forma em um colo isobárico (figura 45.35). O vento, nas **depressões em V**, não ronda como nas depressões normais, mas dá um salto brusco de mais de 90°, rondando de **NW** para **SW** e refrescando violentamente, acompanhado de forte aguaceiro momentâneo, quando o eixo do cavado (ou linha de talvegue) passa pelo observador. A pressão também varia bruscamente, acusando o barômetro um “dente” pronunciado. Em geral, há forte trovoadas. As **depressões em V** deslocam-se regularmente de **W** para **E**, com velocidades de 20 a 30 nós. O eixo do cavado é uma área perigosa para navios e aviões.

c. MASSAS DE AR E FRENTES

Uma grande quantidade de ar na troposfera com propriedades próprias (**temperatura e umidade**) e uniformidade horizontal constitui uma **massa de ar**. As propriedades físicas características de uma **massa de ar** são a **temperatura** e a **umidade**, que tendem a apresentar uniformidade horizontal (no mesmo nível) ao longo da massa de ar, que pode ser visualizada como uma grande bolha de ar na superfície da Terra. A extensão horizontal típica de uma massa de ar é de 1.000 milhas, ou mais (figura 45.46). As massas de ar movem-se como um corpo através da superfície terrestre, de uma região para outra.

As massas de ar se formam sobre extensas áreas da superfície da Terra que são suficientemente uniformes, permitindo à atmosfera adjacente adquirir características semelhantes, isto é, aproximar-se da uniformidade horizontal. As propriedades de qualquer **massa de ar** são adquiridas, primeiramente, na região de formação, de onde se originam; posteriormente, tais características são modificadas por influência das condições atmosféricas e da superfície das áreas sobre as quais se desloca, depois de abandonar a região de origem.

Figura 45.46 – Massa de Ar

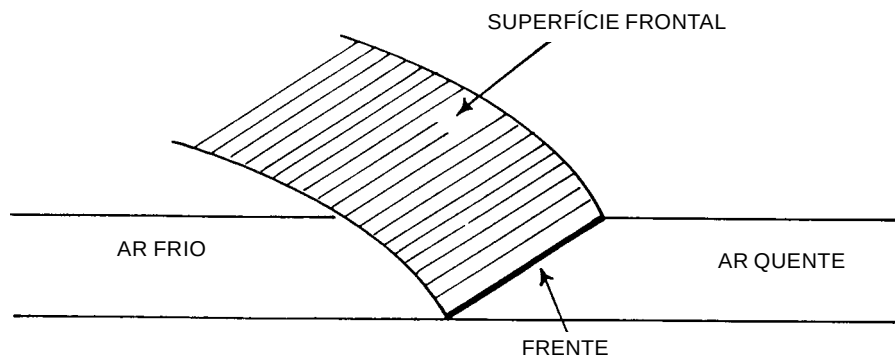


Quanto à origem, as massas de ar podem ser **polares**, quando provêm dos pólos; **tropicais**, quando oriundas das regiões tropicais; **continentais**, quando se originam nos continentes; e **marítimas**, quando se formam sobre os oceanos. Com relação à temperatura de seus níveis inferiores, as massas de ar podem ser **quentes** (mais aquecidas que as regiões sobre as quais se deslocam) ou **frias** (mais frias que as regiões sobre as quais se movimentam).

Quando duas massas de ar de propriedades diferentes se encontram tendem a conservar suas características, formando zonas de separação. Denominamos de **superfície frontal** à superfície de separação de duas massas de ar de características distintas. A **superfície frontal**, então, é uma camada atmosférica relativamente estreita que separa duas massas de ar de características contrastantes. **Frente** é a linha na superfície terrestre que separa duas massas de ar (figura 45.47). As **frentes**, portanto, marcam discontinuidades em toda a extensão do encontro entre duas massas de ar, constituindo zonas de transição

de massas de ar de propriedades diversas, em particular quanto à temperatura. As superfícies frontais são inclinadas; a inclinação depende do deslocamento da massa de ar que avança e da relação entre as propriedades de ambas as massas. A espessura do mau tempo frontal pode variar de 50 a 300 km; a **frente** é um fenômeno de escala sinótica, podendo estender-se lateralmente por várias centenas de quilômetros.

Figura 45.47 – Superfície Frontal e Frente



A região frontal é, normalmente, de pressões relativamente baixas (não significando, entretanto, que exista obrigatoriamente um centro de baixa) e convergência de massas de ar, o que já bastaria para tornar a região instável e, portanto, associada a mau tempo, com probabilidade de subida de ar e posterior formação de nuvens. Além desses fatores, a diferença de temperaturas das massas é, também, forte catalizador na subida do ar, com o ar mais frio tendendo a permanecer próximo da superfície, enquanto o mais quente ascende a níveis elevados. O processo de formação de **frentes** denomina-se **frontogênese**.

As **frentes** classificam-se em:

- Frias;
- quentes;
- oclusas; e
- estacionárias.

– FRENTE FRIA

Diz-se que uma frente é **fria** quando a massa de ar que avança é mais fria do que a que se encontra em determinada região, isto é, a massa de ar frio se desloca para substituir uma massa de ar quente na superfície. O ar quente, mais leve, sobe quando empurrado pelo ar frio, formando na **frente fria** uma rampa abrupta, com inclinação forte (figura 45.48). Assim, a faixa de mau tempo associada a uma frente fria é, em geral, mais estreita, embora mais rigorosa, do que a de uma frente quente. A frente fria apresenta formação de nuvens cumuliformes, com chuvas em forma de pancadas moderadas a fortes e trovoadas. Quando a massa é muito seca, pode não apresentar nebulosidade e suas tempestades são apenas relacionadas a ventos fortes.

Figura 45.48 – Frente Fria

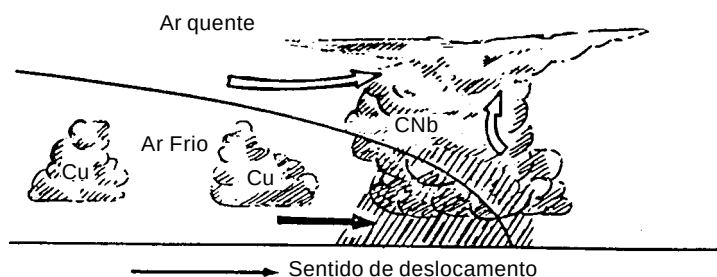
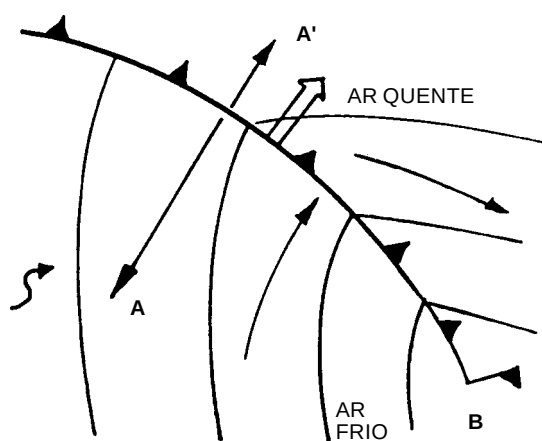


Figura 45.49 – Representação de uma Frente Fria

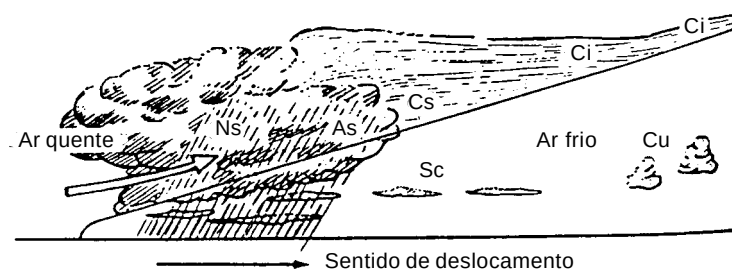
Com a aproximação da **frente fria**, a tendência barométrica é normalmente indicada por uma queda brusca da pressão, contínua ou não. Adiante da **frente fria**, o vento rondará, no Hemisfério Sul, no sentido anti-horário, de **NE** ou **N** para **NW** e, em seguida, abruptamente para **SW**, forte e com rajadas, conforme mostrado na figura 45.49. A temperatura aumenta com a aproximação e cai rapidamente após a passagem da frente. Há redução de visibilidade, devido às pancadas de chuva.

Quando o deslocamento da **frente fria** é lento, as mudanças não ocorrem tão bruscamente, mas sim lenta e gradativamente, formando nuvens estratiformes, que ocasionam precipitação contínua e persistente.

Uma **frente fria secundária** resulta de uma massa de ar frio que se desenvolve na retaguarda de uma frente fria principal, em virtude da alta velocidade com que se desloca a frente principal ou em consequência do surgimento de uma ramificação fria de uma grande oclusão. As condições de tempo associadas às frentes frias secundárias podem ser rigorosas.

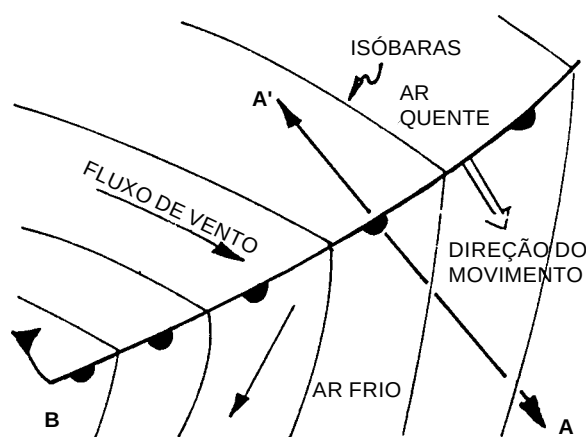
– FRENTE QUENTE

A **frente quente** ocorre quando há substituição do ar frio pelo ar quente à superfície. Na **frente quente**, então, o ar quente se desloca contra a massa de ar frio; como o ar quente é mais leve, a **frente quente** eleva-se sobre a massa de ar frio, formando uma rampa suave, com menor inclinação (figura 45.50). Por isso, o mau tempo associado a uma frente quente, embora menos rigoroso, estende-se normalmente em uma faixa mais larga que nas frentes frias. Na região que precede a frente quente, vai ocorrendo uma lenta queda de pressão atmosférica, com o desenvolvimento de nuvens altas (cirrus, cirrocumulus, cirrostratus), com cirrus presentes até cerca de 500 km adiante da frente.

Figura 45.50 – Frente Quente

Com a aproximação da frente, a nebulosidade, que consiste agora de cirrus, cirrostratus, nimbostratus e stratus, ocasiona precipitação leve, tipo garoa, contínua ou intermitente. A pressão, normalmente, cai durante um tempo apreciável antes da passagem frontal, começando a subir logo após. O vento adiante da frente é fraco e, após a sua passagem, ronda no sentido horário (figura 45.51). A visibilidade é, em geral, boa até o início da precipitação.

Figura 45.51 – Representação de uma Frente Quente



– FRENTE OCLUSA

Uma **frente oclusa** é formada quando uma frente fria alcança uma frente quente e uma das duas frentes, quente ou fria, deixa de ter contacto com o solo, para elevar-se sobre a superfície da outra. A **frente oclusa**, assim, é proveniente do encontro de uma frente fria com uma frente quente; as **frentes oclusas** estão, em geral, associadas às circulações ciclônicas. Na região em que se forma a **oclusão**, observa-se a existência de três massas de ar de natureza diferente: uma quente, uma fria e uma terceira mais fria ou mais quente do que as outras duas.

A oclusão pode ser **tipo frente fria (oclusão tipo fria)**, mostrada nas figuras 45.52 e 45.53, ou **tipo frente quente (oclusão tipo quente)**, representada nas figuras 45.54 e 45.55. Na **oclusão tipo frente fria**, o ar atrás da frente fria é mais frio que o ar fresco adiante da frente quente. À medida que a oclusão progride, o ar frio e denso desloca todo o ar que se encontra na trajetória da frente fria. O ar quente, literalmente apanhado entre duas massas de ar frio, é impelido rapidamente para cima. O resultado é uma mistura de condições de tempo frontais, com mau tempo de frente quente, seguido imediatamente de mau tempo de frente fria. Este é o tipo mais comum de oclusão.

Figura 45.52 – Frente Oclusa Fria

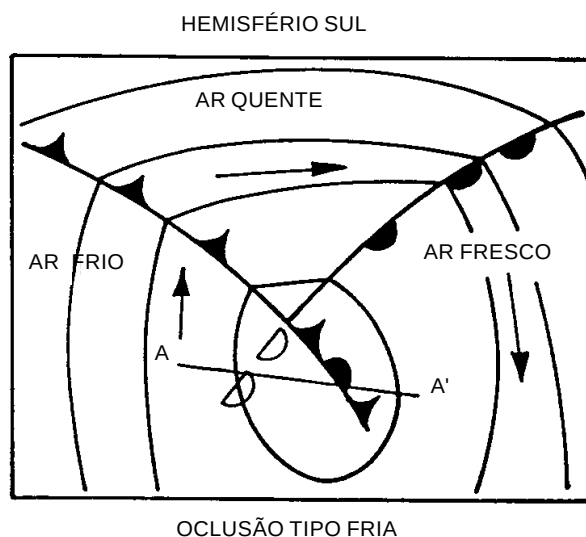


Figura 45.53 – Oclusão Tipo Frente Fria

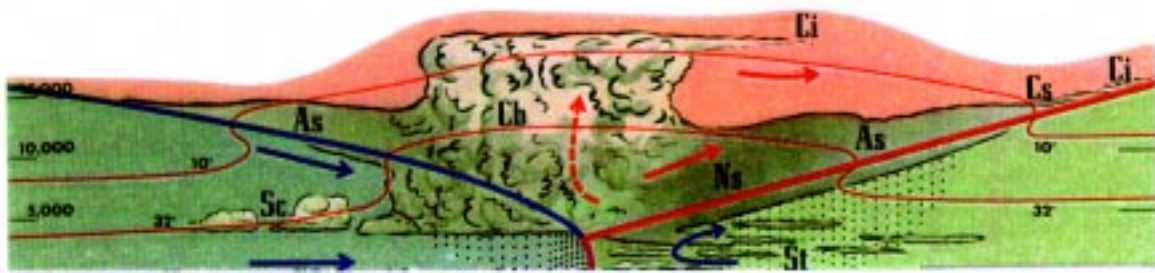


Figura 45.54 – Frente Oclusa Quente

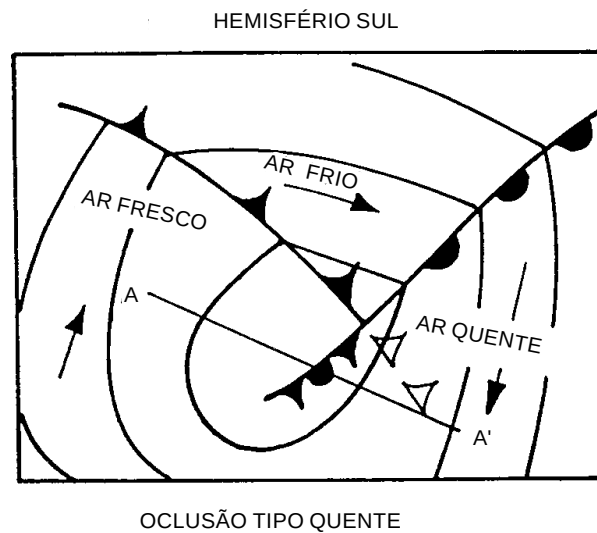
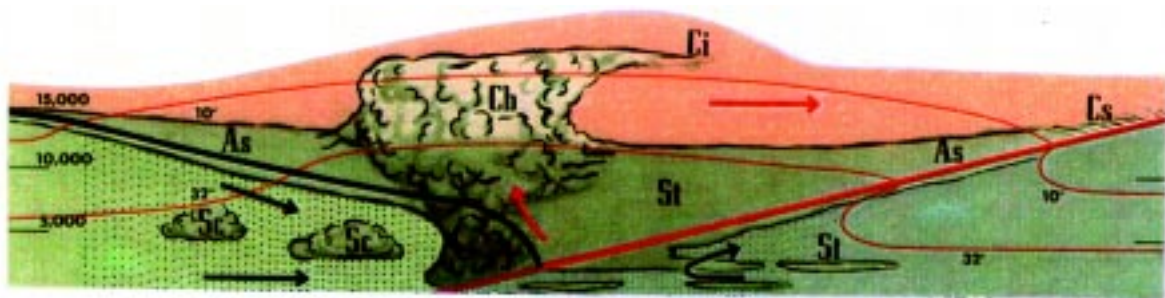


Figura 45.55 – Oclusão Tipo Frente Quente



Na **frente oclusa quente**, o ar adiante da frente quente é mais frio e mais denso que o ar fresco por trás da frente fria. Este ar, que se move mais rápido, empurrando a frente fria, é mais leve e, então, sobe sobre o ar (mais frio) que está por baixo da frente quente. O tempo de frente quente será seguido por tempo de frente fria, como em toda as oclusões.

Assim, o tempo associado às oclusões tem características tanto das frentes quentes como das frentes frias. As condições de tempo mudam rapidamente nas **oclusões** e são, em geral, muito severas durante as etapas iniciais do seu desenvolvimento.

A oclusão é precedida por nuvens de frente quente. Pode haver um período de chuvas contínuas adiante e na linha da oclusão, ou um período mais curto de chuva forte,

principalmente atrás da oclusão, dependendo de o ar na frente da oclusão ser mais frio ou mais quente que o ar atrás dela. Além disso, pode ocorrer uma repentina rondada do vento na oclusão.

– FRENTE ESTACIONÁRIA

Ocorre quando não se observa deslocamento da superfície frontal, que se mantém fixa, não havendo, assim, substituição do ar à superfície. Nessa situação, os ventos são paralelos à frente em ambos os lados, porém de direções opostas. Sua tendência é se dissipar, num processo de **frontólise**, se não vier a receber um reforço de uma massa de ar (geralmente fria), para reiniciar o seu deslocamento.

O tempo associado com as frentes estacionárias pode ser igual a uma frente fria, igual a uma frente quente, ou somente um cinturão de nuvens cumuliformes, dependendo do histórico da frente, do contraste de temperatura, da direção dos ventos, etc.

As convenções mostradas na figura 45.56 são usadas nas cartas meteorológicas para representar as **frentes**.

Figura 45.56 – Representação das Frentes nas Cartas Sinóticas

FRENTE FRIA



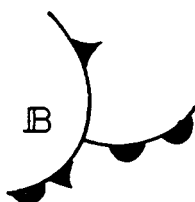
FRENTE QUENTE



FRENTE ESTACIONÁRIA



FRENTE OCLUSA
TIPO FRENTE FRIA



FRENTE OCLUSA
TIPO FRENTE QUENTE



d. TEMPESTADES ISOLADAS E TROVOADAS

O ar, ao elevar-se, expande-se e, como consequência, se resfria, continuando a expandir-se e a resfriar-se enquanto se eleva. Ao atingir determinado nível, o ar seco pára de subir, por estar suficientemente frio. Só continuaria a se elevar se houvesse uma fonte de energia a aquecê-lo nesse novo nível de altitude. No ar seco não há fonte de energia, mas no ar úmido há uma forte fonte de energia, que é o calor latente armazenado no vapor-d'água contido no ar. Então, uma das condições favoráveis para intensificar o processo

convectivo é o ar estar bastante úmido. Com a intensificação da convecção, formar-se-ão nuvens de grande desenvolvimento vertical, às quais estão associadas **tempestades e trovoadas**.

As **tempestades isoladas** ocorrem associadas às nuvens **cumulonimbus**. As **trovoadas**, manifestações características de nuvens **cumulonimbus**, ocorrem durante todas as estações do ano nos trópicos e do final do inverno até o outono nas zonas temperadas.

As **trovoadas** formam-se, em geral, sobre grandes áreas líquidas, com maior probabilidade de ocorrerem à noite (devido à pouca estabilidade do ar sobre a água neste período), ou ao longo das frentes frias. Nas **linhas de instabilidade** (associadas com a ruptura da dianteira de frentes frias, que se manifestam como uma súbita rajada de vento e uma violenta instabilidade, provavelmente com granizo e trovão) formam-se cumulonimbus e trovoadas devido a efeitos locais.

Para que haja formação de **cumulonimbus** e **trovoadas**, é indispensável uma intensa convecção, com fortes correntes verticais. Estas correntes verticais originam-se por um ou mais dos seguintes processos:

- Atividade frontal;
- influência topográfica;
- convergência; e
- aquecimento do ar próximo ao solo.

Tais processos permitem classificar as **trovoadas**, de acordo com a forma pela qual a ascensão inicial do ar é realizada, em:

(I) **TROVOADAS DINÂMICAS OU TROVOADAS FRONTAIS**

- De frente quente;
- de frente fria;
- pré-frontal (linha de instabilidade); e
- de frente oclusa.

(II) **TROVOADAS DE MASSAS DE AR**

- Convectivas;
- orográficas; e
- advectivas.

• **TROVOADAS DINÂMICAS OU TROVOADAS FRONTAIS**

Ocorrem como resultado de correntes verticais ascendentes criadas por uma frente ou por movimentos a ela associados.

– **Trovoadas de Frente Quente**

As trovoadas de frente quente normalmente ocorrem quando o ar quente e úmido se superpõe à massa de ar frio e instável.

– **Trovoadas de Frente Fria**

As trovoadas de frente fria ocorrem próximas à superfície frontal. Uma linha contínua e paralela à superfície frontal é a característica distintiva. Devido ao fato da maioria das trovoadas ser visível, elas são fáceis de serem reconhecidas enquanto a frente está se

aproximando de qualquer direção. As bases das trovoadas de frente fria são normalmente mais baixas que as do tipo de frente quente. Elas são mais ativas durante a tarde e, geralmente, mais violentas que as do tipo de frente quente.

– Trovoadas Pré-Frontais ou de Linha de Instabilidade

A linha de instabilidade pré-frontal é encontrada de 80 a 480 km adiante de uma frente fria sendo, geralmente, paralela a ela. A linha de instabilidade tem aproximadamente 240 a 480 km de extensão, embora não necessariamente contínua, e sua largura atinge até 60 km. As bases das nuvens são mais baixas e os topos mais altos que a maioria das trovoadas. As condições mais severas, tais como pancadas de chuva, pancadas fortes de saraiva, ventos destruidores e tornados, são geralmente associadas com linhas de instabilidade.

– Trovoadas de Frente Oclusa

São trovoadas que ocorrem com oclusões do tipo frente fria e do tipo frente quente e são semelhantes às das outras frentes, com menor extensão e tempo menos severo. As trovoadas de frentes oclusas são associadas mais freqüentemente com a oclusão do tipo frente quente. Como no caso da trovoadas de frente quente, as trovoadas de frente oclusa são quase sempre envolvidas por nuvens estratiformes e dão pequeno, ou nenhum, aviso de sua presença.

• TROVOADAS DE MASSAS DE AR

Apresentam duas características básicas:

- (a) Formam-se, normalmente, no interior de uma massa de ar quente e úmida; e
- (b) geralmente, são isoladas ou esparsas sobre uma grande área.

– Trovoadas Convectivas

As trovoadas convectivas ocorrem com maior freqüência que qualquer outro tipo de trovoadas de massa de ar. Elas ocorrem sobre terra ou água, na maior parte das áreas do globo, sendo muito comuns nas zonas temperadas durante os meses de verão.

Quando o processo convectivo ocorre na área marítima, observa-se a importância da contribuição da umidade para intensificação da convecção. Em vista disso, constata-se o extraordinário desenvolvimento convectivo que ocorre na Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) e na região tropical marítima. A fabulosa energia que sustenta os furacões provém da umidade do ar marinho, razão pela qual eles enfraquecem e se dissipam ao penetrarem no continente.

Sobre os oceanos, as trovoadas convectivas ocorrem mais no inverno e nas horas avançadas da noite, quando o aquecimento da superfície do mar durante o dia é pequeno e insuficiente para formar correntes convectivas fortes. Durante a noite, a superfície do mar e o ar inferior úmido se resfriam aos poucos, enquanto que o ar superior se resfria rapidamente pela radiação. A diferença de temperatura se torna maior à noite e, conseqüentemente, as razões de variação de temperatura necessárias à convecção se tornam mais freqüentes neste período, originando correntes convectivas fortes e trovoadas.

– Trovoadas Orográficas

As trovoadas orográficas se formam quando o ar úmido e instável é forçado a ascender por terrenos montanhosos. A saraiva é comum nestas trovoadas, quando elas se desenvolvem ao longo de encostas de montanhas elevadas.

– Trovoadas Advectivas

As trovoadas advectivas ocorrem quando há advecção (movimento horizontal do ar) de ar frio sobre áreas quentes (quase sempre correntes marítimas quentes), estando o ar instável ou condicionalmente instável. O ar frio sobre as águas aquecidas tenderá a ter sua camada inferior, mais próxima da superfície, igualmente aquecida, o que dá início à formação da trovoada. Sob certas condições, também pode ocorrer advecção de ar quente e úmido sob uma atmosfera instável ou condicionalmente instável, e isto acarretará o início da formação. Essas trovoadas acontecem à noite e, por isso, são também chamadas de noturnas.

• FENÔMENOS METEOROLÓGICOS ASSOCIADOS ÀS TROVOADAS

– **Relâmpagos (raios):** faísca luminosa causada pela descarga da eletricidade atmosférica.

– **Vento:** os cumulonimbus provocam ventos em rajadas, variando em direção, e sua intensidade pode atingir 40 a 80 nós de velocidade. Quando a chuva pára, os ventos tornam-se fracos e com a direção acompanhando o sistema de pressão predominante na área.

– **Precipitação:** à medida que as gotas d'água ou cristais de gelo que compõem as nuvens vão aumentando de tamanho, elas começam a cair rapidamente e atingem o solo em forma de precipitação, salvo quando retidas por correntes ascendentes ou evaporadas durante a queda. A precipitação adquire diferentes formas (granizo, saraiva, precipitação em forma de pancadas fortes, moderadas e fracas), dependendo da temperatura na qual ocorra a condensação e das condições encontradas durante a queda das partículas em direção ao solo.

– **Granizo:** grãos de água congelada, semitransparentes, redondos ou cônicos. Cai apenas durante a trovoada, e constitui um dos perigos dos cumulonimbus, porque a intensidade de seu impacto sobre as embarcações e aeronaves é capaz de causar danos às mesmas. O radar pode mostrar áreas de granizo, que devem ser evitadas. As áreas que contêm granizo normalmente apresentam coloração esverdeada.

– **Saraiva:** precipitação em forma de pedras de gelo mais ou menos ovais, variando em diâmetro de 5 a 50 mm, ou mais. É composta de gelo vidrado ou de camadas opacas e claras alternadamente. É encontrada, ocasionalmente, no ar claro próximo à trovoada. Nas trovoadas tropicais e subtropicais, a saraiva raramente alcança o solo. Ocorre nas Latitudes médias e altas.

– **Precipitação em forma de pancadas (aguaceiros):** precipitação em que a intensidade aumenta ou diminui com interrupções regulares, cujos períodos são sempre maiores que os períodos de precipitações. O início de qualquer precipitação é usualmente acompanhado pelo seguinte:

- Visibilidade reduzida, dependendo da intensidade da precipitação;
- abaixamento da base da nuvem; e
- abaixamento do nível de congelamento.

– **Visibilidade:** os fenômenos associados às nuvens cumulonimbus afetam a visibilidade, reduzindo-a, em geral, para 1 a 2 km.

– **Estado do Mar:** as nuvens cumulonimbus produzem rajadas de vento e intensa precipitação de duração entre 15 e 30 minutos. O estado do mar durante a precipitação,

devido aos ventos em rajadas que atingem de 34 a 40 nós de intensidade, poderá apresentar ondas de 3 a 4 metros de altura. Quando ocorrem vagalhões moderados, as cristas que se formam quebram em borrifos e a espuma é espalhada em faixas bem definidas, na mesma direção do vento.

– **Trombas-d'água e tornados:** fenômenos já mencionados no Capítulo 42; a nuvem afunilada de uma tromba-d'água se forma associada com uma trovada e, quando atinge a superfície líquida do mar, capta a água violentamente.

– **Turbulência:** por definição, é a agitação vertical das moléculas de ar. Esta agitação provocará um vôo desconfortável, pois a aeronave tem sua altitude alterada seguidamente, o que provoca variações em sua sustentação. A turbulência pode, também, tornar o controle da aeronave muito difícil e, em casos extremos, resultar em avaria estrutural.

A turbulência na atmosfera é classificada como leve, moderada, forte e severa.

A turbulência no ar atmosférico é causada por vários fatores:

- Térmico;
- frontal;
- mecânico;
- cortante do vento em grande escala; e
- produzida pelo homem.

A turbulência térmica é causada pelo maior aquecimento da superfície da Terra, enquanto a turbulência frontal é provocada pela chegada de uma frente. Uma região turbulenta deve ser evitada, sempre que possível, pois é no interior ou nas proximidades de nuvens cumuliformes que surgem as maiores dificuldades aos aeronavegantes.

• TEMPESTADES DE AREIA

Ventos de moderados a fortes, soprando sobre terreno seco, solto e desprovido de vegetação, levantam nuvens de poeira que são carregadas pelos movimentos do ar. São freqüentes nas grandes planícies, em áreas desérticas e desprovidas de vegetação. Quando há estabilidade na atmosfera, a poeira permanece próxima à superfície e o céu pode ser visto através dela.

Quando há instabilidade, a turbulência leva a poeira até grandes alturas, a atmosfera inferior fica toldada e o céu desaparece através de uma nuvem cinza de poeira, que chega quase a ocultar o Sol. Por vezes, a nuvem de poeira atinge tal densidade que torna necessária a iluminação artificial em pleno dia; a poeira que assim se eleva compõe-se de partículas minúsculas, que podem ser levadas através de grandes distâncias.

– Condições de Ocorrência das Tempestades de Areia:

- Com ventos de intensidade maior que 15 nós; e
- preferencialmente nas estações quentes.

– Visibilidade nas Tempestades de Areia:

Quando a tempestade de poeira é densa, a visibilidade fica reduzida a distâncias menores que 500 m.

45.4 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS PREDOMINANTES E EVOLUÇÕES TÍPICAS DO TEMPO NO ATLÂNTICO SUL

Na situação normal, de bom tempo, o anticiclone subtropical do Atlântico Sul domina o oceano e o litoral, que são banhados por ar tropical marítimo, quente e úmido. Os ventos, de fracos a moderados, variam de SE a NE; o tempo é bom, com nebulosidade. A temperatura sobe lentamente e há um declínio lento da pressão pelo aquecimento da superfície

U'a massa de ar frio é acumulada no sul do continente e, precedida por uma frente fria, avança para o norte, deslocando-se na direção da região tropical. A sua configuração faz com que a frente fique perpendicular à costa sudeste da América do Sul (figura 45.57).

Figura 45.57 – Aproximação da Frente Fria

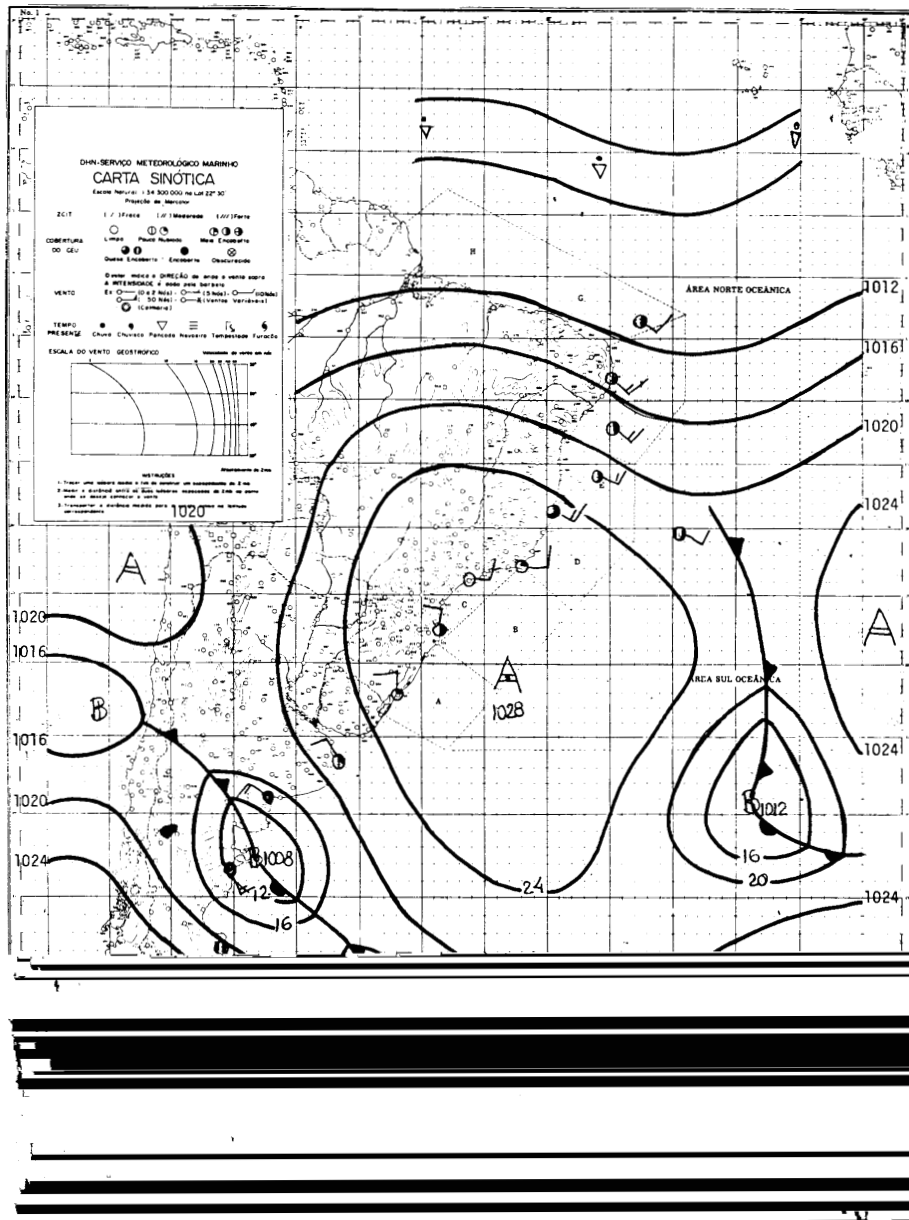
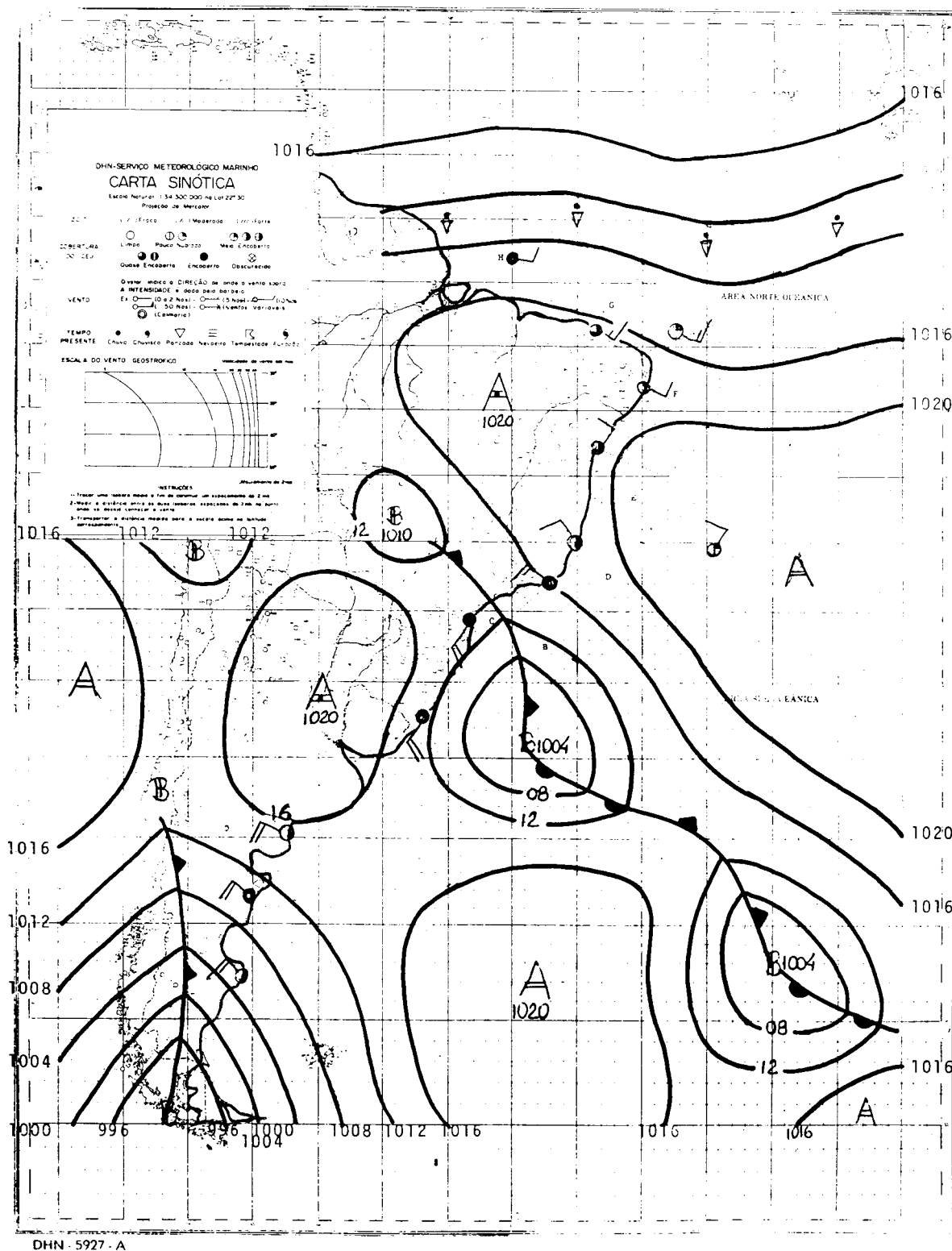


Figura 45.58 – Penetração do Ar Frio na Região do Ar Tropical (a Depressão e a Frente Fria Aparecem Bem Definidas)



A massa de ar frio, então, penetra na região do ar tropical. A depressão e a frente fria aparecem bem definidas (figura 45.58). A frente fria estende-se para **SE** e move-se para **NE**. À aproximação da frente fria:

- (a) A pressão declina, a temperatura e a umidade tendem a aumentar;
- (b) o vento se intensifica, soprando do **N** ou **NW**. Às vezes, uma calmaria precede a frente; e
- (c) o tempo se fecha gradualmente de cirrus e cirrostratus. A cerca de 40 milhas aparecem altocumulus isolados, que se adensam e avolumam, baixando a cumulus e stratocumulus. Dos cumulus (ou cumulonimbus, se o ar quente é instável) caem chuvaradas ou aguaceiros intensos, mas efêmeros, que começam cerca de 10 milhas adiante da frente. No caso de haver cumulonimbus, podem ocorrer trovoadas. Entretanto, a frente fria pode não produzir chuvas e, nem mesmo, nebulosidade, associando-se apenas a ventos fortes.

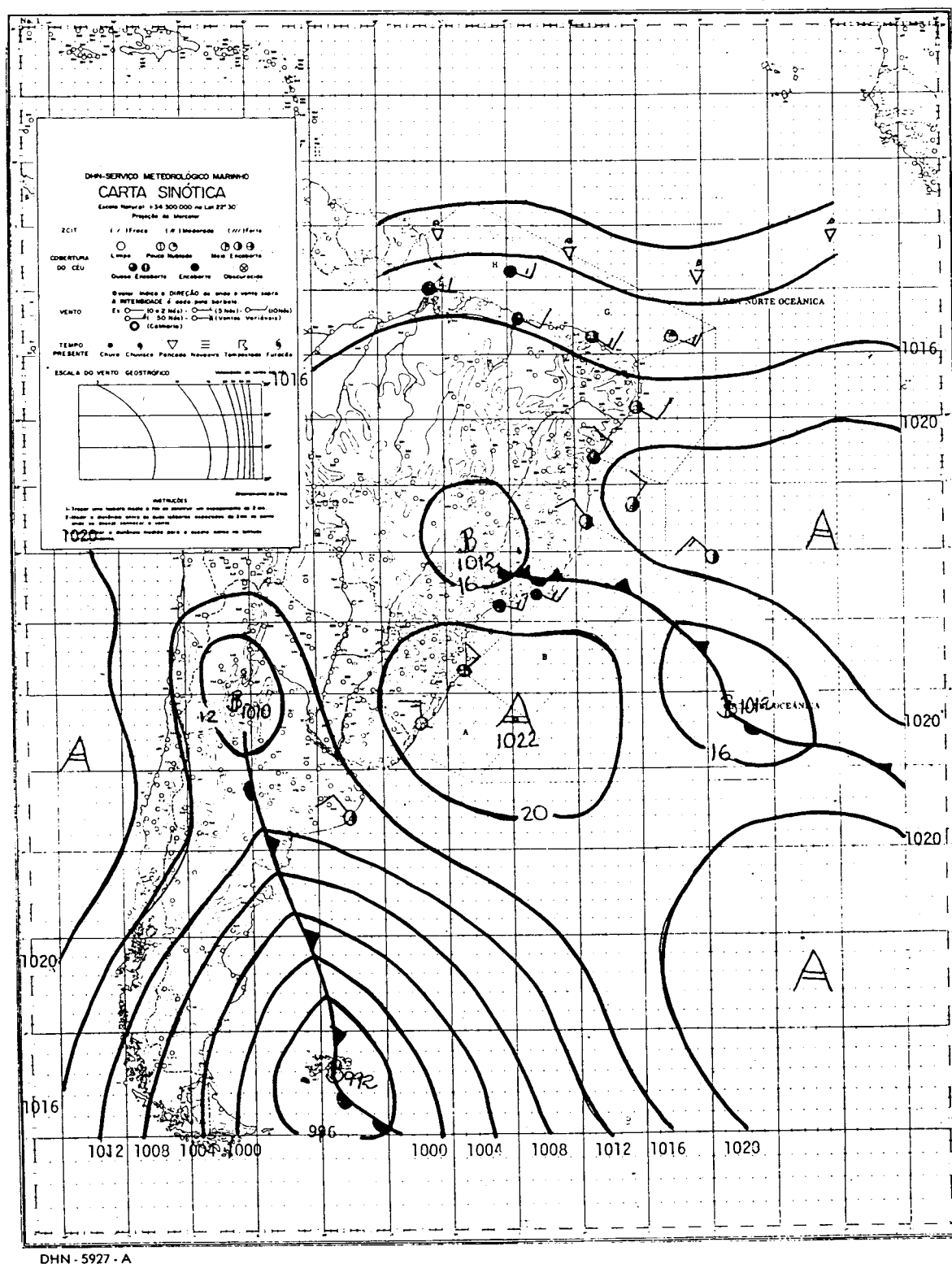
À passagem da frente fria, a região sob o seu efeito apresenta as seguintes características:

- (a) A pressão passa por um mínimo, depois sobe (a pressão cai na aproximação da frente e volta a subir após a passagem da mesma);
- (b) os ventos rondam subitamente de **NW** para **SW**, com rajadas frescas, mormente se a pressão é muito baixa;
- (c) a umidade sobe e depois da passagem da frente tende a diminuir;
- (d) a temperatura cai (a circulação vem do sul, trazendo ar mais frio); e
- (e) na passagem da frente há nebulosidade e chuvas, com aguaceiros fortes, mas efêmeros, e possíveis trovoadas.

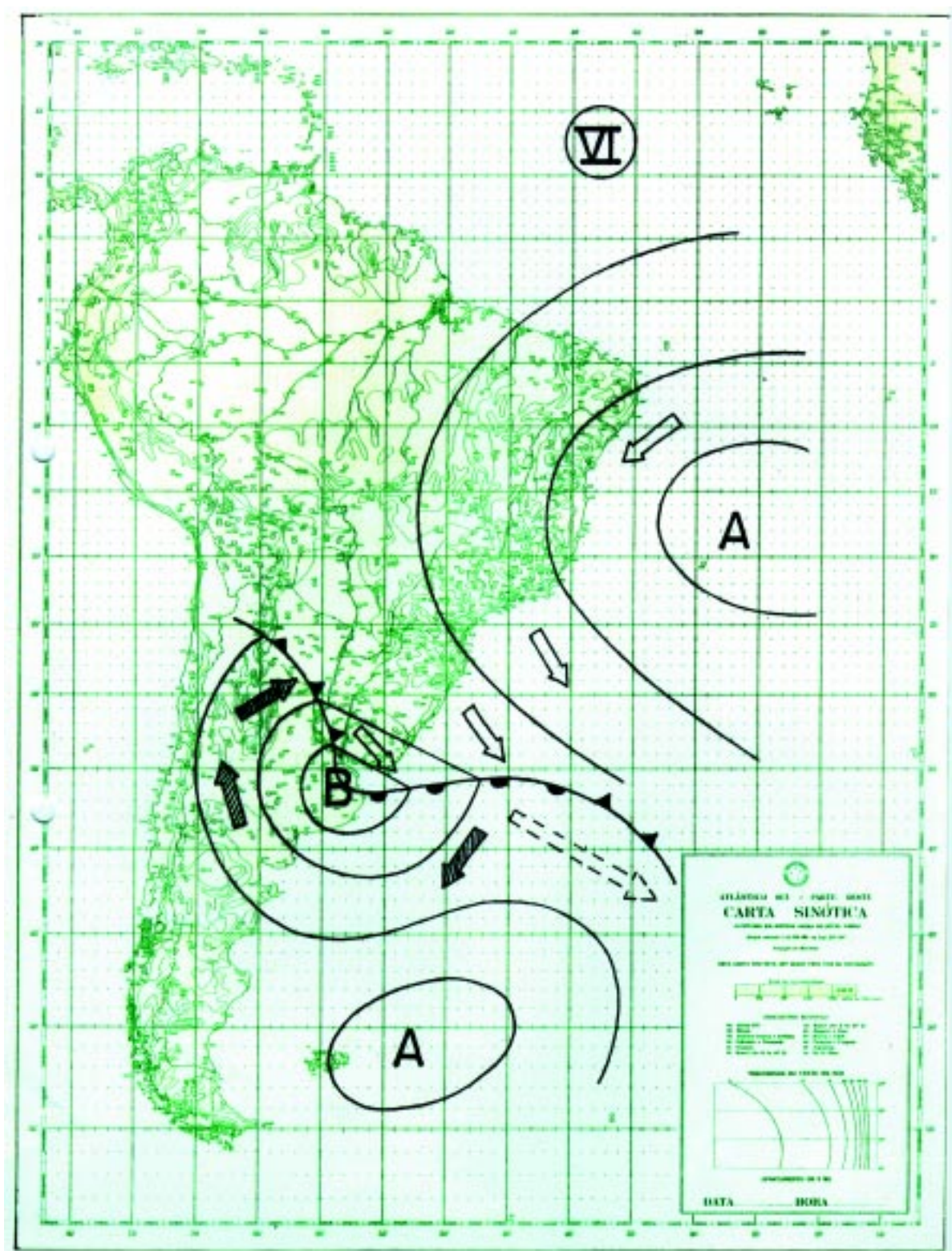
Passada a frente, a pressão sobe, a temperatura declina mais, o céu limpa gradualmente e volta a reinar tempo bom, com ventos de **SW** ou **S**.

A massa de ar frio penetra na região tropical e, a seguir, se desloca para leste. Sua parte mais ao norte começa a perder as características de frente fria e, dentro em breve, transformar-se-á na massa de ar tropical. A sua extremidade inferior (ao sul) continua se deslocando para leste (figura 45.59).

Se a massa fria é suficientemente forte, a frente pode avançar até o Nordeste; então, o anticiclone frio cobre a maior parte do Brasil, determinando, após os aguaceiros

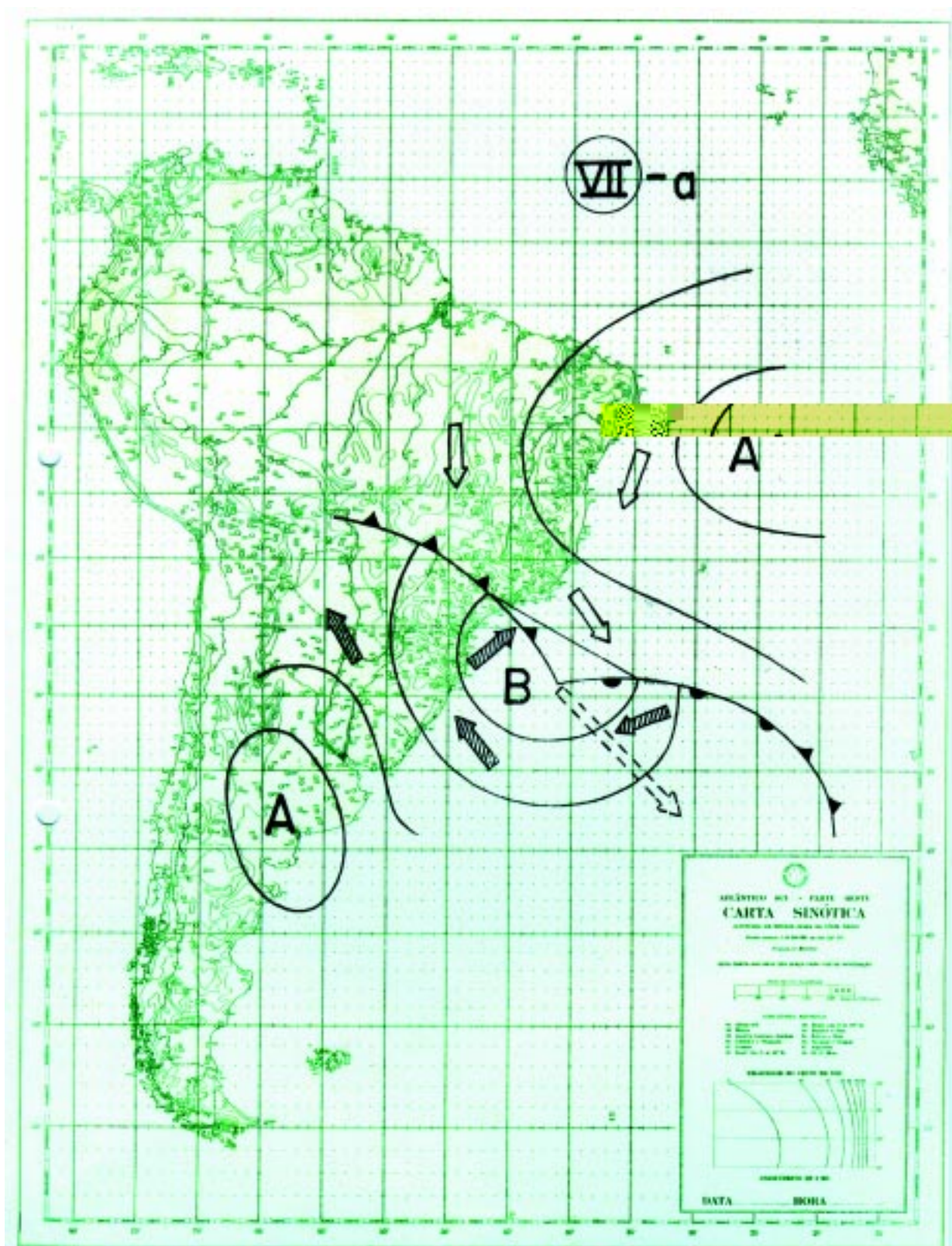
Figura 45.59 – Início da Dissipação (Frontólise)


A evolução típica apresentada está sujeita a variações. A frente fria pode se deter no sul e formar depressões. O sul do Brasil fica, então, num setor quente, com ventos de NW e aquecimento pré-frontal (figura 45.60); sobrevem, depois, a frente fria, com os sintomas já descritos. Com o avançar da depressão para SE, a frente fria varre toda a costa sul, produzindo vento de SE, que ronda gradualmente para SW. Este fenômeno é mais comum no inverno.

Figura 45.60 – Frente Fria Detida no Sul do Brasil

Algumas raras vezes, exclusivamente no inverno, a frente se detém mais ao norte e forma depressões, nas proximidades do Rio de Janeiro, por exemplo (figura 45.61). Estabelece-se, então, violenta circulação (fortes vendavais de SE), levantando muito mar entre Santos e Cabo Frio. Este fenômeno exige, para se formar, uma poderosa invasão fria no interior do continente, resistida por fortes ventos quentes (N ou NW).

Figura 45.61 – Frente Fria se Detém nas Proximidades do Rio de Janeiro



Pode ocorrer, também, o recuo da frente, como frente quente. Quando isto se dá, o céu encoberto (nimbostratus e altostratus) e chuvas intermitentes permanecem, por vários dias, em todo o sul do Brasil.

45.5 PROGNÓSTICO DA ATMOSFERA E PREVISÃO DO TEMPO A BORDO

As cartas meteorológicas recebidas por **fac-simile** (“**weather fax**”), ou obtidas a partir da plotagem da Parte IV dos boletins meteorológicos (“**meteoromarinha**”) transmitidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), devem ser utilizadas como base para a previsão do tempo na área onde está o navio, em conjunto com as variações dos parâmetros meteorológicos observados a bordo.

– Carta de Pressão à Superfície

A carta de pressão à superfície, conhecida como Carta Sinótica, constitui um dos recursos mais eficientes para o prognóstico do tempo. Utilizando-se a evolução típica do tempo e as particularidades do sistema isobárico, é possível a elaboração de uma previsão para até as próximas 24 horas.

As particularidades de um campo isobárico que devem ser usadas no trabalho de prognose do tempo são:

- (a) A distância entre os centros de anticiclones e ciclones;
- (b) a diferença de pressão entre os anticiclones que determinam o sistema frontal mais próximo do navio e que influenciará no tempo local; e
- (c) o gradiente isobárico de cada sistema de pressão que constitui o estado da atmosfera local.

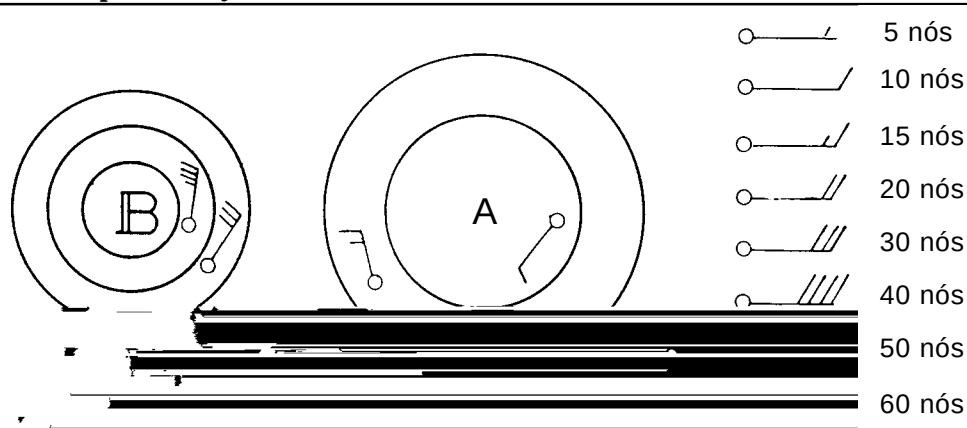
A distância média entre os centros de pressão é dada pela evolução típica do tempo fornecida pelos órgãos que fazem o trabalho de Climatologia. Quanto mais próximos estiverem os centros de pressão, mais forte será o vento.

A diferença de pressão entre os anticiclones que determinam um sistema frontal indica o caráter de movimento do sistema, que pode ser enquadrado em um dos casos: velocidade alta, média ou baixa.

O gradiente de pressão é representado pela distância entre as isóbaras, e determina a intensidade do vento, que pode ser calculada através escala do vento geostrófico inserida nas cartas sinóticas, onde são apresentados os sistemas isobáricos.

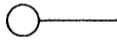
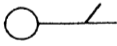
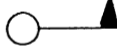
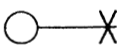
Quanto mais estreito for o espaçamento entre as isóbaras, maior será o gradiente de pressão e, portanto, maior será a intensidade do vento. Como sabemos, os ventos não sopram exatamente paralelos às isóbaras, formando ângulos de 20° a 30° para dentro, na direção dos centros de baixa pressão; nos anticiclones, os ventos fazem um ângulo maior para fora com as isóbaras. A simbologia para representação dos ventos nas cartas sinóticas está mostrada na figura 45.62.

Figura 45.62 – Representação dos Ventos nas Cartas Sinóticas



O símbolo usado para plotagem da direção do vento é uma seta com um pequeno círculo numa extremidade e traços (farpas) na outra (figura 45.62). A **direção de onde sopra o vento** é indicada pela extremidade com traços (farpas). O pequeno círculo na outra extremidade indica a **cobertura do céu**, conforme a simbologia mostrada na figura 45.62a.

Figura 45.62a – Simbologia usada na Carta Sinótica

ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)	(/) Fraca	(//) Moderada	(///) Forte
COBERTURA DO CÉU	 Limp 0	 Pouco nublado 1 e 2	 Meio encoberto 3, 4 e 5
	 Quase encoberto 6 e 7	 Encoberto 8	 Obscurecido 9
VENTO	 (0 a 2 nós)	 (5 nós)	 (10 nós)
	 (50 nós)	 (Ventos variáveis)	 (Calmaria)
TEMPO PRESENTE	 Chuva	 Chuvisco	 Pancada
		 Nevoeiro	 Tempestade
			 Furacão

Outra informação meteorológica representada graficamente na carta sinótica, por meio de duas pequenas linhas paralelas, é a **linha de instabilidade**, que poderá ser acrescida da simbologia de tempo presente – chuva, chuvisco, pancada, etc. (ver a figura 45.62a).

Cartas sinóticas de pressão à superfície são transmitidas por fac-símile ou INTERNET, possibilitando ao navegante que dispõe de receptor apropriado (“weather fax” ou computador) receber as informações meteorológicas na forma gráfica. Os detalhes de horários, frequências, potências de transmissão, etc. encontram-se em publicações da OMM (Organização Meteorológica Mundial) ou na Lista de Auxílios-Rádio publicada pela DHN.

Os seguintes conceitos devem ser lembrados quando se procede à análise das cartas meteorológicas de superfície:

(1) O ar mais quente torna-se menos denso e tende a subir na atmosfera, dando lugar ao ar mais frio;

(2) existe uma temperatura mínima na atmosfera, abaixo da qual o vapor-d'água nela contido começa a se condensar (temperatura do ponto de orvalho);

(3) os centros de alta pressão (**anticiclones**) são centros divergentes, isto é, na superfície o ar se afasta dos centro de alta. Portanto, haverá a descida do ar das camadas mais altas para a superfície e, como consequência, um aquecimento desse ar. O tempo associado aos centros de alta pressão é geralmente bom;

(4) os centros de baixa pressão (**ciclones**) são centros convergentes, isto é, na superfície o ar converge para o centro de baixa pressão. Portanto, haverá subida do ar da superfície para as camadas superiores, causando assim o resfriamento desse ar e, conseqüentemente, a formação de nuvens e possibilidade de chuvas;

(5) o ar quando se expande ou sobe, na atmosfera, se resfria. Quando atinge um determinado nível o vapor-d'água existente nessa massa de ar se condensa, formando as nuvens. Esse fenômeno ocorre nos centros de baixa pressão;

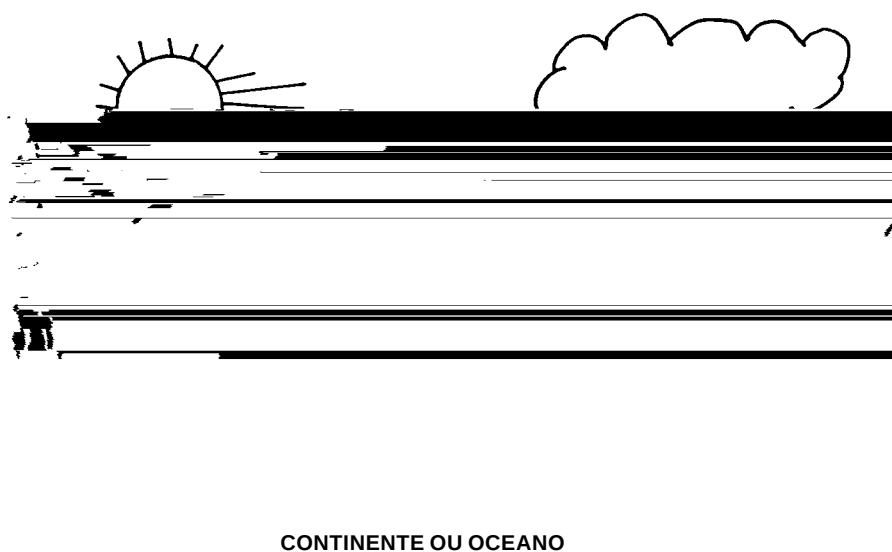
(6) os centros de alta pressão tendem a formar nuvens mais dispersas. Sobre o mar, freqüentemente, se verifica uma fina camada de stratocumulus;

(7) durante o dia o ar sobre a superfície terrestre se aquece mais rapidamente do que o ar sobre o oceano. O ar mais frio e denso do oceano movimenta-se para o continente a fim de substituir o ar mais quente daquela região. Este fenômeno é chamado **brisa marítima** e é observado ao longo da costa;

(8) durante a noite o continente esfria mais rapidamente que o oceano. O ar mais frio do continente se desloca para o mar, onde existe um ar mais quente e menos denso. Este fenômeno chama-se **brisa terrestre (terral)**;

(9) o aquecimento diurno pode provocar nuvens do tipo cumulonimbus (efeito local), conforme mostrado na figura 45.63;

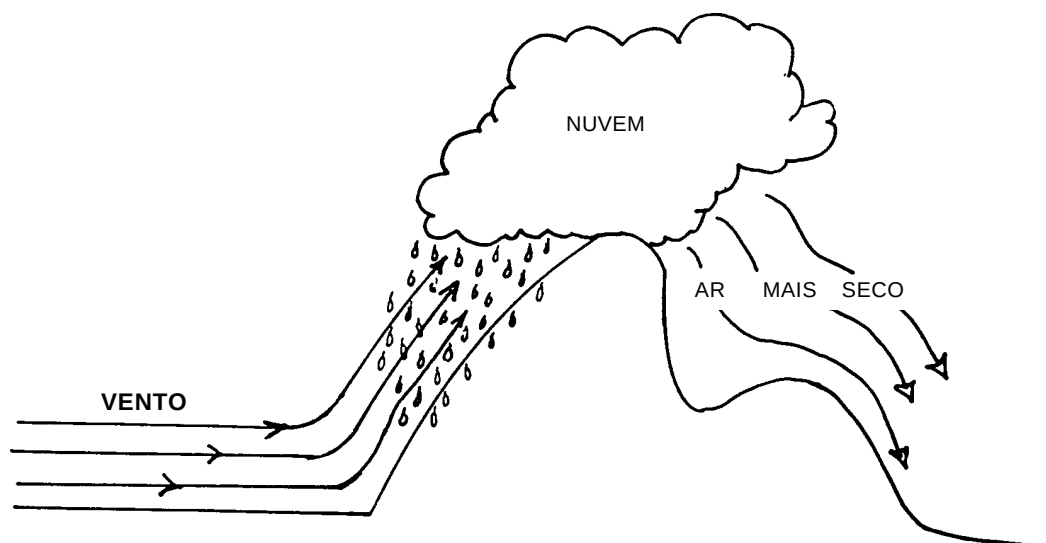
Figura 45.63 – Nuvens Cumuliformes Provocadas pelo Aquecimento Diurno (Efeito Local)



(10) a topografia pode ocasionar a formação de nuvens e chuva (efeito orográfico) a barlavento da montanha (ver a figura 45.64);

(11) a circulação nos centros de baixa pressão, no Hemisfério Sul, é convergente e no sentido horário (circulação ciclônica);

Figura 45.64 – Formação de Nuvem Orográfica a Barlavento das Montanhas

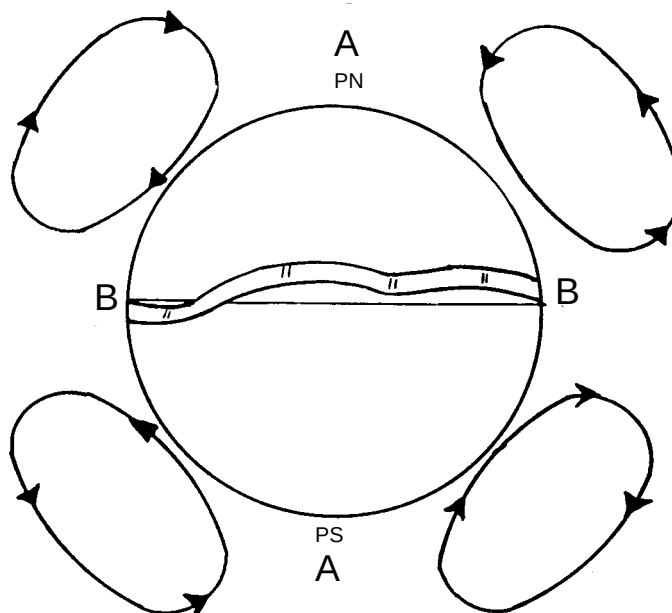


(12) a circulação nos centros de alta pressão, no Hemisfério Sul, é divergente e no sentido anti-horário (circulação anticiclônica);

(13) a região equatorial e tropical do planeta é mais aquecida do que os pólos. A circulação global vem dos pólos (ar mais frio e mais denso) para os trópicos e o equador (ar mais quente e menos denso). Próximo ao equador terrestre existe um equador meteorológico, que é o ponto de convergência das circulações globais dos dois hemisférios. Essa região é chamada zona de convergência intertropical;

(14) as massas de ar frio procedentes dos pólos se deslocam como se fossem bolhas (células) de ar mais densas, em direção à região tropical (figura 45.65); e

Figura 45.65 – Deslocamento Geral das Massas de Ar



(15) os dados estatísticos climatológicos apresentados neste Capítulo (valores médios de pressão e temperatura, grandes sistemas de vento, etc.) devem ser usados como referencial para a previsão do tempo. A maioria dos fenômenos esperados numa determinada época, num local considerado, ocorre dentro de uma faixa, em torno de uma média de valores que expressam cada fenômeno. A observação de valores muito discrepantes da média significa, geralmente, condições anormais de tempo.

Aspectos importantes dos parâmetros meteorológicos:

(a) A temperatura do ar e a umidade indicam as propriedades da massa de ar presente e sua alteração brusca pode ser a chegada de uma frente com outra massa de ar;

(b) a pressão atmosférica indica o grau de aquecimento da superfície e o comportamento da temperatura do ar e, portanto, as características da massa de ar presente. Uma alteração brusca da pressão pode significar a chegada de outra massa de ar;

(c) a TSM associada à informação da temperatura do ar indica como está se comportando a interação atmosfera-oceano. Se a diferença for acentuada, pode provocar a alteração nas características da massa de ar presente. Quando a TSM é mais fria, pode afetar a visibilidade, se houver formação de nevoeiro; e quando a TSM for mais quente,

(f) se a pressão está parando de subir ou passando a cair no lado do ar frio, o cavado está se deslocando na direção do ar frio, portanto a frente pode ser considerada frente quente;

(g) se na costa brasileira o vento local predominante apresentar uma mudança brusca de direção do quadrante norte para o quadrante sul, indica que a frente que chegou é do tipo fria; e

(h) se os ventos forem fortes com precipitações torrenciais, indicam frente fria de deslocamento rápido, ou seja, a velocidade de deslocamento acima de 20 nós.

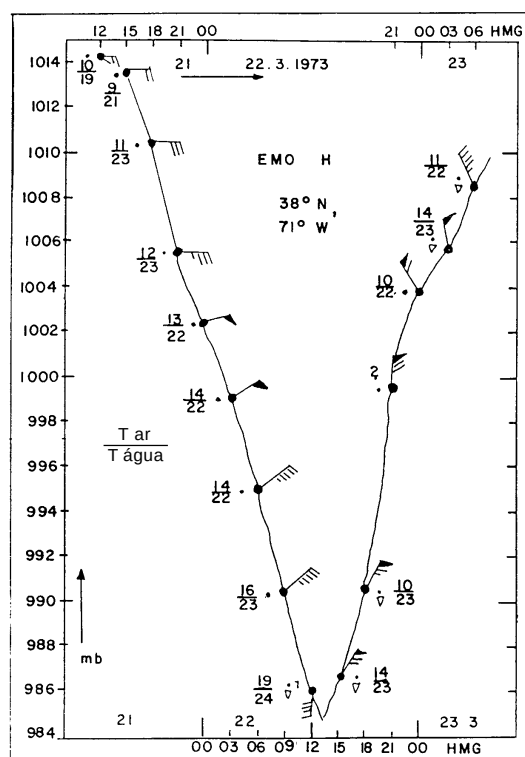
Utilizando os conceitos apresentados nos itens anteriores e realizando observações dos elementos meteorológicos, o navegante poderá efetuar a previsão do tempo a bordo.

A posição e o caráter do movimento das depressões e frentes devem ser cuidadosamente acompanhados, procurando-se estimar suas trajetórias e posições futuras.

A **tendência barométrica** é outra informação essencial para o prognóstico da atmosfera. A migração de massas de ar causa a variação dinâmica da pressão atmosférica. Logo, o registro horário das leituras barométricas fornece o dinamismo do ar atmosférico, favorecendo a previsão de chegada dos sistemas de pressão e frontal num determinado local.

A bordo, para previsão dos sistemas de pressão, é conveniente traçar um gráfico da **tendência barométrica**, onde são registrados, no eixo das ordenadas, os valores da pressão atmosférica, em milibares (hectopascas) e, no eixo das abcissas, as horas. No exemplo da figura 45.66, estão registrados no gráfico os valores da pressão nos horários sinóticos (00^h, 03^h, 06^h, 09^h, 12^h, 15^h, 18^h, 21^h e 24^h HMG). Para cada observação foram registradas, também, a temperatura do ar e da água do mar, a direção e intensidade do vento.

Figura 45.66 – Tendência Barométrica (Passagem de uma Depressão)



A **variação da temperatura** é, também, uma informação importante. A compressão da massa de ar quente provocada pela força do ar frio produz um aumento significativo de temperatura pouco antes da chegada de um sistema frontal frio. Antes da passagem de uma frente quente, a temperatura permanece estável, ou declina um pouco, para subir acentuadamente após a passagem da frente.

A **variação da umidade** do ar deve ser acompanhada pelo registro horário da temperatura do ponto de orvalho. A diferença entre a temperatura do ar seco e a do ponto de orvalho indica o teor de umidade existente no ar. Quanto menor for a diferença entre essas duas temperaturas maior é o teor de umidade e maiores as probabilidades de nebulosidade e precipitações.

A plotagem horária do **vento** é o meio ideal para se detectar a aproximação de um sistema frontal, ou sistema de pressão, porque ficam registradas as suas mudanças de direção e intensidade. Se a direção do vento sofre deflexões contínuas de sentido horário no Hemisfério Norte e anti-horário no Hemisfério Sul, isto significa que um sistema frontal ou ciclônico está se aproximando, desde que a pressão esteja caindo significativamente. Ventos fortes com precipitações torrenciais indicam frentes frias de deslocamento rápido (velocidade acima de 20 nós) ou ciclones dinâmicos.

O controle da tendência da umidade relativa é de especial interesse quando se observa advecção (movimento horizontal) de ar quente e úmido sobre superfície de ar mais frio. Se a variação da umidade relativa mostrar possibilidade de saturação do ar, poderá ser formado nevoeiro.

O **marulho** é produzido por ventos passados ou distantes. Pode ser utilizado, portanto, como indicador na direção onde se encontram fontes geradoras de fortes ondulações do mar (vagas), como ciclones e sistemas frontais de deslocamento rápido, que sofreram retenção temporária (frentes frias que se deslocam em saltos). No Hemisfério Sul, a depressão está sempre do lado esquerdo da direção de onde vem o marulho.

As **nuvens** são consequência do estado do ar e, por isto, devem ser usadas como sinais precursores de fenômenos meteorológicos de atividades moderadas a fortes. Cirrus em forma de garras indicam fortes ventos em altitude e aproximação de sistemas frontais e ciclônicos.

Os quadros e tabelas práticas a seguir apresentados também auxiliam na previsão do tempo a bordo.

OBSERVAÇÕES SOBRE AS INDICAÇÕES DO BARÔMETRO

Estacionário nas horas de subida (0400 às 1000 e 1600 às 2200)	Tempestade distante ou de pouca duração
Estacionário nas horas de subida e descida	Tempestade certa, porém distante ou de curta duração
Baixando nas horas de subida	Tempestade próxima e violenta
Baixando bruscamente	Vento de pouca duração, tão mais violento quanto maior e mais brusca for a baixa
Baixando rapidamente e de modo uniforme	Mau tempo, probabilidades de ventos contrariando a rondada normal, chuva provável nas zonas temperadas
Baixa acentuada com tempo chuvoso	Ventos duros e de longa duração
Baixando depois de uma alta	Salto do vento. Temporal do lado do equador
Subindo com vento de E	Hemisfério Sul – Vento rondará para SE
	Hemisfério Norte – Vento rondará para NE
Baixando com vento de NE	Hemisfério Norte – Vento rondará para E
Baixando com vento de SE	Hemisfério Sul – Vento rondará para E
MARÉ BAROMÉTRICA NORMAL	
0400 – 1000 – subida	
1000 – 1600 – descida	
1600 – 2200 – subida	
2200 – 0400 – descida	

TABELA DE VENTOS PERIGOSOS

Hemisfério Norte	Ventos	Hemisfério Sul	Ventos
Latitudes em graus		Latitudes em graus	
0° a 30°	NE	0° a 26°	SE
30°	E	26°	E
Maior que 30°	SE	Maior que 26°	NE

PREVISÃO DO TEMPO NO MAR PELA VARIAÇÃO DO BARÔMETRO E TERMÔMETRO

BARÔMETRO	TERMÔMETRO	TEMPO PROVÁVEL
Subindo	Subindo	Tempo quente seco. Ventarrão, na Zona Tórrida
	Estacionário	Bom tempo
	Baixando	Ventos dos lados do Pólo Elevado
Estacionário	Subindo	Mudança para bom tempo
	Estacionário	Tempo incerto
	Baixando	Chuva provável
Baixando	Subindo	Tempo incerto
	Estacionário	Chuva provável
	Baixando	Chuva abundante

- Termômetro subindo enquanto chove: chuva pouco duradoura;
- termômetro descendo enquanto chove: chuva contínua; e
- alta acentuada do barômetro seguida de baixa contínua, acompanhada de forte elevação da temperatura, é sinal precursor de tempestade ou de ventos de caráter ciclônico.

EFEITO DOS VENTOS SOBRE O BARÔMETRO

	HEMISFÉRIO SUL	BARÔMETRO	HEMISFÉRIO NORTE
VENTOS	E – NE – N	Baixa	E – SE – E
	NW	Cessa de baixar (mínima)	SW
	W – SW – S	Sobe	W – NW – N
	SE	Cessa de subir (máxima)	NE

HEMISFÉRIO	BARÔMETRO	VENTO	CONSEQÜÊNCIA
Norte	Subindo	E	Vento rondará para NE
	Baixando	N	Vento rondará para E
Sul	Subindo	E	Vento rondará para SE
	Baixando	SE	Vento rondará para E

**TABELA DO CAPITÃO-DE-FRAGATA M. BRIDET, DA MARINHA
DA FRANÇA, PARA REGIÕES TROPICAIS**

Barômetro (mm)	Distância aproximada do centro do ciclone		Estando-se sobre a direção da trajetória ou próxima dela	
	Milhas	Horas	Baixa em mm	Dist. do centro em horas
759,0	270	36		
758,5	247	33		
758,0	225	30		
757,0	202	27		
756,0	180	24	0,3	24
754,5	157	21	0,5	21
753,0	135	18	0,6	18
751,0	112	15	0,7	15
748,0	90	12	1,0	12
744,0	67	9	1,5	9
738,0	45	6	2,0	6
729,0	22	3	3,0	3
713,0	0	0	4,5	0

OUTRAS REGRAS PRÁTICAS PARA PREVISÃO DO TEMPO

O TEMPO BOM GERALMENTE PERMANECE QUANDO:

- O nevoeiro de verão dissipa-se antes do meio-dia;
- as bases das nuvens ao longo das montanhas aumentam em altura;
- as nuvens tendem a diminuir em número;
- o barômetro está constante ou subindo lentamente;
- o Sol poente parece uma bola de fogo e o céu está claro (céu avermelhado no ocaso);
- a Lua brilha muito e o vento é leve; e
- há forte orvalho ou geada à noite.

O TEMPO GERALMENTE MUDA PARA PIOR QUANDO:

- Nuvens cirrus transformam-se em cirrostratus, abaixam-se e tornam-se mais espessas, criando uma aparência de “céu pedrento”;
- nuvens que se movem rapidamente aumentam em número e abaixam em altura;
- nuvens movem-se em diferentes direções, desencontradamente no céu, em diferentes alturas;
- altocumulus ou altostratus escurecem o céu e o horizonte a oeste (isto é, nuvens médias aparecem no horizonte a oeste) e o barômetro cai rapidamente;
- o vento sopra forte de manhã cedo;
- o barômetro cai rápida e continuamente;
- ocorre um aguaceiro durante a noite;
- o céu fica avermelhado no nascer do Sol;
- uma frente fria, quente ou oclusa se aproxima;
- o vento N ou NE passa a soprar do S ou SE; e
- a temperatura está anormal para a época do ano.

O TEMPO GERALMENTE VAI MELHORAR QUANDO:

- As bases das nuvens aumentam em altura;
- um céu encoberto mostra sinais de clarear;
- o vento ronda de S ou SW para NE ou N;
- o barômetro sobe continuamente; e
- três a seis horas depois da passagem de uma frente fria.

A meteorologia por provérbios e os conselhos práticos apresentados no Apêndice a este Capítulo também são úteis para a previsão do tempo, além de fazerem parte da “cultura do mar”, sendo familiares a todos os navegantes experimentados.

– **Boletim Meteorológico para Navios (Meteoromarinha)**

O **Boletim Meteorológico para Navios** é transmitido em “broadcast” por estações de rádio, a intervalos regulares. Os detalhes de horários, frequências, potências, etc. encontram-se em publicações da OMM (Organização Meteorológica Mundial) e, também, em publicações especiais das nações marítimas que fazem as irradiações. No caso do Brasil, existe a Lista de Auxílios-Rádio, publicada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação.

As partes que constituem o **Meteoromarinha** são:

Parte I – avisos de mau tempo (também informados por Avisos aos Navegantes);

Parte II – resumo descritivo do tempo;

Parte III – previsão do tempo para as áreas de responsabilidade do país que emite;

Parte IV – análise sinótica da carta de superfície que deu origem ao boletim, em forma resumida e codificada (código FM46-IV IAC FLEET da OMM, “International Analysis Code for Marine Use IAC-FLEET”, modelo DHN 5911);

Parte V – mensagens “SHIP” significativas, transmitidas por navios (código FM-13-XI SHIP da OMM, modelo DHN 5934);

Parte VI – mensagens “SYNOP” de estações de terra significativas (código FM-12-XI SYNOP da OMM, modelo DHN 5934).

As partes I, II e III são transmitidas em linguagem clara, em português, e repetidas em inglês, após a parte VI.

Os **avisos de mau tempo** são emitidos quando uma ou mais das seguintes condições meteorológicas estejam previstas:

(a) Vento de força 7 ou acima, na escala Beaufort (intensidade de 28 nós ou mais);

(b) ondas de 4 metros ou maiores, em águas profundas (mar de grandes vagas ou vagalhões); e

(c) visibilidade restrita a 2 km ou menos.

A ausência de aviso de mau tempo é claramente mencionada no Meteoromarinha, com a expressão **NIL** ou **NÃO HÁ**.

A parte IV deverá ser tratada com bastante atenção pelo navegante, pois ela proporciona informações detalhadas, além de apresentar graficamente o que é explicado nos itens I, II e III. A plotagem da parte IV (nas cartas modelo DHN-5927) permite obter a carta meteorológica de superfície, já explicada.

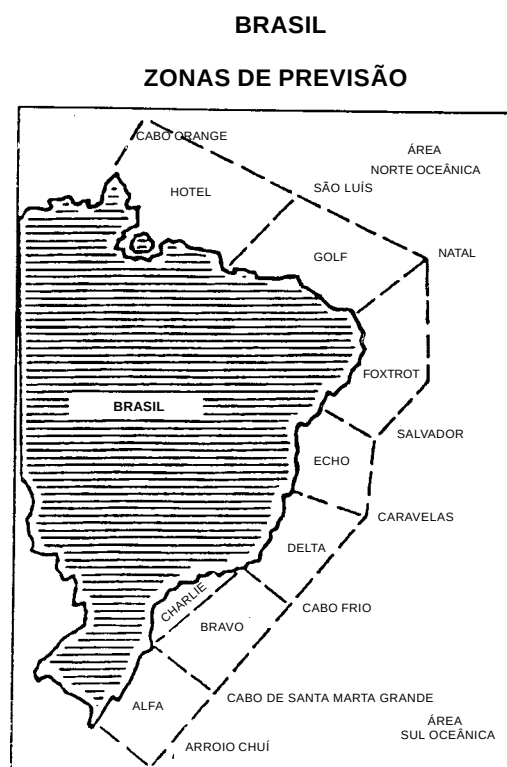
Mesmo sem plotar as partes V e VI é possível obter a indicação das posições dos centros de altas e baixas pressões, das frentes e o traçado das isóbaras, apenas decodificando a parte IV do boletim. O navegante, desde logo, pode presumir que a análise transmitida nesta parte do boletim foi elaborada por meteorologistas experientes, que têm acesso a um número muito maior de informações que as transmitidas nas partes V e VI.

As informações contidas nas partes IV, V e VI devem ser usadas para uma melhor avaliação da área específica de interesse de cada navegante.

No Brasil, as áreas de previsão do tempo são (ver a figura 45.67):

- ALFA: do Arroio Chuí ao Cabo de Santa Marta Grande;
- BRAVO: do Cabo de Santa Marta Grande ao Cabo Frio (oceânica);
- CHARLIE: do Cabo de Santa Marta Grande ao Cabo Frio (costeira);
- DELTA: do Cabo Frio a Caravelas;
- ECHO: de Caravelas a Salvador;
- FOXTROT: de Salvador a Natal;
- GOLF: de Natal a São Luís;
- HOTEL: de São Luís ao Cabo Orange;
- NOVEMBER: Norte Oceânica (a Oeste de 020°W, de 07°N a 15°S);
- SIERRA: Sul Oceânica (a Oeste de 020°W, de 15°S a 36°S).

Figura 45.67 – Áreas de Previsão Meteorológica



Além da **carta meteorológica** por fac-símile (que também pode ser recebida pela INTERNET) e do **meteoromarinha**, o CHM também transmite o **Boletim de Previsão para Áreas Portuárias** e o **Boletim Especial de Previsão do Tempo**.

O **Boletim de previsão para áreas portuárias** fornece as condições meteorológicas previstas para as proximidades de um porto. É redigido em linguagem clara e, normalmente, transmitido por radiotelefonia, contendo as seguintes informações: área abrangida e data-hora (HMG) do término do período de sua validade; aviso de mau tempo; previsão do estado do tempo; previsão do estado do céu; previsão dos ventos predominantes; previsão de ondas; e previsão de visibilidade e da tendência da temperatura.

O **Boletim especial de previsão do tempo**, emitido pelo CHM mediante solicitação do interessado, fornece previsões meteorológicas para uma área marítima **bem definida** e para finalidades específicas, tais como operações de reboque, socorro e salvamento, deslocamento de plataformas de petróleo, regatas oceânicas, operações militares e outras atividades que, por sua peculiaridade, exigem informações detalhadas que, normalmente, não constam dos boletins meteorológicos padrões. A forma e o conteúdo das previsões especiais obedecem, de maneira geral, aos modelos das Partes I, II e III do Meteoromarinha.

45.6 ESTADO DO MAR

Como vimos no Capítulo 42, as ondas que são observadas normalmente no mar têm sua origem na ação dos ventos. Os movimentos ondulatórios da superfície do mar gerados pelo vento que sopra no momento e local considerados são denominados de **vagas**. O **marulho**, por sua vez, é constituído pelas lentas e compridas ondulações produzidas por ventos passados ou distantes. Tais ondulações, também denominadas de **vagalhões mortos**, propagam-se por grandes distâncias, sendo observadas em pontos afastados do campo de vento que as gerou.

As **vagas**, então, são geradas pelo vento presente. Os seguintes elementos provocam o completo desenvolvimento das **vagas**:

- (a) A **direção e intensidade** do vento que sopra;
- (b) a **duração** do vento (tempo durante o qual sopra); e
- (c) a **pista** percorrida pelo vento sobre a superfície do mar.

A distinção entre **vagas** e **marulho** é feita usando-se os seguintes critérios:

- (d) Direção da onda;
- (e) aspecto da onda; e
- (f) período da onda.

As **vagas**, por estarem sob o efeito do vento, possuem aspecto confuso, com direção de propagação pouco definida, pequeno comprimento de onda, pequeno período e presença de “carneirinhos”, isto é, espuma causada pela arrebentação das ondas em alto-mar.

O **marulho**, por outro lado, possui aspecto regular, com grande comprimento de onda, direção bem definida e velocidade de propagação constante. As ondas “viajam” em grupos, formando os trens de ondas. As cristas geralmente são largas e de perfil pouco pronunciado.

Se o vento é fraco, as vagas são curtas, com pouca energia, e rapidamente desaparecem. Somente ventos com velocidade superior a 3-4 nós criam uma ondulação permanente.

Outro fator predominante na formação das ondas é a **duração** do vento. Assim, um vento de 40 nós poderá produzir, após 6 horas de ação, vagas com altura característica de 4,5 metros e período característico de 7,0 segundos. Dentro da **pista** porém, estarão presentes ondas com período entre 4,2 e 12,6 segundos e altura entre 1,0 e 5,7 metros. Os ventos de rajada, apesar da grande velocidade, não levantam mar de grandes alturas.

Quando a embarcação se encontra sob o efeito de um sistema meteorológico (alta pressão polar, baixa pressão, frentes, etc.) e o vento sopra por um período considerável (mais de 6 horas), com direção e velocidade aproximadamente constantes, as vagas terão alturas consideráveis e poderão oferecer perigo. É importante frisar que a perturbação produzida no mar pelo vento tem um efeito muito maior para a navegação que o próprio

vento. Durante a ocorrência de tempestades tropicais, ou ciclones tropicais, as vagas podem atingir alturas de 20m ou mais, e causam grande parte das mortes atribuídas a este fenômeno.

Pode-se produzir zonas de fortes marulhos, inclusive quando o vento observado é fraco, devido à ocorrência de grandes **pistas** em áreas afastadas. Dentro da área de geração, as ondas **arrebentam**, geralmente, quando a relação entre a altura da onda e o seu comprimento atinge 1:7. É quando se formam os “carneirinhos”, caracterizados pela presença de espuma em alto-mar. À medida que a onda acumula energia, seu comprimento vai aumentando e ela já não arrebenta facilmente. Esta energia é dissipada lentamente por força de fricção (atrito) no mar, ou por força de outros sistemas de vento, ou, rapidamente, quando a onda encontra obstáculos como ilhas, rochas e, finalmente, a costa. Em águas rasas a onda quebra (isto ocorre quando a profundidade é cerca de 4/3 da altura da onda).

A classificação do **estado do mar** pode ser feita pela **escala Beaufort**, já apresentada neste mesmo capítulo, considerando a velocidade do vento e a aparência da superfície do mar. A utilização da escala Beaufort para avaliar o **estado do mar** exige algumas precauções. A relação entre a velocidade do vento e o aspecto do mar não é automática; nem sempre haverá correspondência exata entre a designação da força do vento e do estado do mar na escala Beaufort. Para haver tal correlação, por exemplo, é preciso que o vento tenha estado soprando o tempo suficiente para criar as condições de mar correspondentes. Portanto, temos que considerar a possibilidade de que exista um espaço de tempo entre o momento em que se levanta o vento e o momento em que se produz o aumento do mar. O **estado do mar** também depende de outros fatores, tais como o alcance do vento, o mar de fundo, as marés e se chove ou não. Antes de decidir a interpretação adequada da escala, deve-se levar em conta todos estes aspectos. Estas decisões se fundamentam principalmente na experiência. As informações a seguir podem ser úteis:

- (a) Frequentemente se produz uma discrepância entre o vento e o mar da costa, onde é provável que soprem ventos de caráter local;
- (b) um vento em alto-mar não cria condições correspondentes no mar da costa, já que necessita um certo alcance antes de produzir seu efeito total;
- (c) marulho é o nome que se dá às ondas que foram geradas em outro lugar e que não são mantidas pelo vento que sopra no ponto de observação. O marulho não é levado em conta quando se estima o **estado do mar** puramente pela velocidade do vento;
- (d) as marés e as correntes fortes influenciam na aparência da superfície do mar. Um vento que sopra em direção contrária à maré e à corrente gera ondas de maior altura, enquanto um vento na mesma direção produz uma perturbação menor na superfície do mar (maré a sotavento);
- (e) a precipitação, principalmente quando forte, produz um efeito de atenuação na superfície do mar; e
- (f) sabe-se que a altura da perturbação do mar originada por um vento de determinada força está afetada pela diferença entre as temperaturas do mar e do ar, sendo o mar o meio mais quente. Quando esta diferença aumenta, se produz um notável aumento da perturbação marinha e vice-versa.

O **estado do mar** também pode ser classificado pela **Escala de Douglas**, mostrada, em conjunto com a **Escala Beaufort**, na figura 45.68. A Escala de Douglas utiliza algarismos de 0 a 9.

Figura 45.68 – Escala Internacional de Beaufort e Estado do Mar Correspondente

Força do Vento	Designação		Velocidade do Vento			Pressão aproximada do vento contra uma superfície normal a ele (kg/m ²)	Estado do Mar			
	Em português	Em inglês	Metros por segundo	Nós	Km por hora		Escala de Douglas	Designação	Em inglês	Altura das ondas, metros
0	Calmaria	Calm	0 – 0,5	0 – 1	0 – 1	–	0	Espelhado	Calm (glassy)	0
1	Bafagem	Light air	0,5 – 1,5	1 – 3	2 – 6	0,1	1	Tranquilo	Calm (rippled)	0 – 0,25
2	Aragem	Slight breeze	1,6 – 3,3	4 – 6	7 – 12	0,5	2	Chão	Smooth (wavelets)	0,25 – 0,75
3	Vento fraco	Gentle breeze	3,4 – 5,2	7 – 10	13 – 18	1,5	3	Pequenas vagas	Slight	0,75 – 1,5
4	Vento moderado	Moderate breeze	5,3 – 7,9	11 – 16	19 – 29	3,2	4	Vagas	Moderate	1,5 – 2,5
5	Vento fresco	Fresh breeze	8,0 – 10,7	17 – 21	30 – 38	5,9	5	Grandes vagas	Rough	2,5 – 4
6	Vento muito fresco	Strong breeze	10,8 – 13,8	22 – 27	39 – 49	9,9	6	Vagalhões	Very rough	4 – 6
7	Vento forte	Moderate gale	13,9 – 17,1	28 – 33	50 – 61	15,2	7	Grandes vagalhões	High	6 – 9
8	Vento muito forte	Fresh gale	17,2 – 20,7	34 – 40	62 – 74	22,4	8	Tempestuoso	Very high	9 – 14
9	Duro	Strong gale	20,8 – 24,4	41 – 47	75 – 88	31,7	9	Excepcional (mar desfeito)	Phenomenal	> 14
10	Muito duro	Whole gale	24,5 – 28,4	48 – 55	89 – 102	43,6				
11	Tempestuoso	Storm	28,5 – 32,6	56 – 63	103 – 117	59,0				
12	Furacão	Hurricane	32,7 e acima	mais de 64	mais de 118	mais de 68				

CLASSIFICAÇÃO DO MARULHO			
ALTURA		COMPRIMENTO	
Baixo (low)	: ≤ 2 m	Curto (short)	: ≤ 100 m
Moderado (moderate)	: 2 – 4 m	Médio (average)	: 100 – 200 m
Pesado ou forte (heavy)	: ≥ 4 m	Longo (long)	: ≥ 200 m

As classificações 6, 7 e 8 da escala do mar são aplicáveis a estados do mar ao largo e não, geralmente, em águas baixas, nas quais a classificação não deve ir além de 5 ou, excepcionalmente, 6 ou 7, em caso de furacão ou tempestade semelhante.

A classificação 9 (mar desfeito ou excepcional) ocorre em certas ocasiões de vento contra corrente, ou de rondagem brusca do vento (como no centro de um furacão) e não necessariamente pela força exclusiva do vento.

O quadro **DHN-5909 (Estado do Mar)** e as fotografias apresentadas no Apêndice a este capítulo também são muito úteis na classificação do **estado do mar**.