

# **NAVEGAÇÃO AÉREA**

**CURSO DE PILOTO PARTICULAR DE AEROPLANOS**

**ALEX H. BLIN**

# NAVEGAÇÃO AÉREA

DO CURSO DE PILOTO PARTICULAR DE AEROPLANOS

**ALEX H. BLIN**

© 1997-2022

## ÍNDICE

0.	Introdução	7.7	Controlo do tempo
1.	A forma da Terra	7.8	Contornar obstáculos
1.1	Eixo e polos	7.9	O círculo de incerteza
1.2	Círculos máximos e círculos menores	7.10	Raio de acção, ponto de não retorno e ponto crítico
1.3	Meridianos, equador, paralelos de latitude e hemisférios	8.	O calculador de navegação
1.4	Ortodrómicas e loxodrómicas	8.1	Tempo, velocidade, distância e combustível
2.	Cartografia	8.2	Problemas de erro de rota
2.1	Escala	8.3	Conversão de unidades
2.2	Projectão	8.4	Velocidade ar verdadeira e número de Mach
2.3	Conformidade e equivalência	8.5	Altitude verdadeira e altitude densidade
2.4	Distâncias	8.6	Resolução de triângulos de velocidades
2.5	Cartas aeronáuticas	8.7	Outros problemas relacionados com o vento
2.6	Símbolos e escalas de conversão de unidades em cartas aeronáuticas	9.	O tempo (horário)
3.	A carta Conforme Lambert 1/500 000	9.1	Tempo Médio Local e Tempo Universal UTC
3.1	Propriedades principais	9.2	Fusos horários e linha de mudança de data
3.2	Convergência dos meridianos	9.3	Nascer e pôr do Sol
3.3	Ortodrómicas e escala	10.	Planeamento de voo
3.4	Representação de elevações e relevo	10.1	Seleção e utilização de cartas e outras informações
4.	Direcções	10.2	Informação meteorológica
4.1	Direcção angular (azimute)	10.3	Elaboração de uma ficha de voo (flight log)
4.2	Norte Verdadeiro e Norte Magnético	10.4	Considerações de performance
4.3	Inclinação	10.5	Peso e centragem
5.	Erros da bússola magnética	10.6	Procedimentos de voos controlados
5.1	Construção da bússola magnética	11.	Navegação prática
5.2	Desvio	11.1	Antes da descolagem
5.3	Erros dinâmicos	11.2	Durante o voo
5.4	O gyro direccional	11.3	Chegada
6.	Cartas na navegação prática	12.	Rádio-navegação
6.1	Marcação de posições (plotting)	12.1	NDB/ADF e RMI
6.2	Medida de direcções	12.2	VDF
6.3	Medida de distâncias	12.3	VOR
7.	Princípios da navegação aérea	12.4	DME
7.1	Navegação vertical	12.5	ILS
7.2	Velocidade ar	12.6	Radar e Transponder
7.3	O triângulo de velocidades	12.7	Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
7.4	Navegação estimada, fixos e controle	12.8	Sinalização luminosa
7.5	Estimativa de distâncias	13.	Bibliografia
7.6	Alteração tardia de rumo	14.	Pontos de estudo

AVISO: As tabelas, cartas e os gráficos reproduzidos neste curso só servem de exemplo e não devem ser utilizados para efeitos de navegação ou operação de aeronaves.

# NAVEGAÇÃO AÉREA

## 0. Introdução

A palavra navegar vem das palavras latinas *navis* = navio e *agere* = mover, dirigir. A navegação é o processo de dirigir uma nave de um lugar para outro. A *aeronave* tem, em comparação a um navio, mais um grau de liberdade de movimento. Assim, *navegação aérea* pode ser definida como *O processo de determinar a posição geográfica e altitude e manter a direcção desejada de uma aeronave em relação à superfície da Terra*. Além do grau de liberdade adicional, o piloto de um *avião* é condicionado pelos seguintes factores:

- Necessidade do movimento contínuo. O avião não pode parar no meio do ar e resolver problemas de orientação ou esperar por condições meteorológicas mais favoráveis.
- Tempo limitado. A maior parte das aeronaves só pode permanecer no ar durante um espaço de tempo relativamente curto, normalmente poucas horas.
- Maior velocidade. Esta limita o tempo de tomar decisões e requer por isso um planeamento de voo rigoroso. Além disso, tem de se recorrer a procedimentos de navegação rápidos e eficazes no caso de alterações necessárias.
- Efeitos do tempo (meteorológico). A visibilidade afecta o uso de referências e o vento influencia mais a posição de uma aeronave do que a de um navio ou veículo terrestre. As variações de temperatura e pressão atmosférica afectam a medição da altitude. As turbulências, as tempestades, a formação de gelo, e outras condições meteorológicas afectam directamente a segurança do voo. Por isso, um bom conhecimento das previsões meteorológicas e um planeamento de voo correspondente torna-se imprescindível.

Podemos distinguir os seguintes tipos de navegação:

*visual*, utilizando referências visuais no terreno, e uma carta;

*estimada*, a partir do rumo, da velocidade, do vento e com ajuda de um relógio;

*rádio eléctrica*, com uso de ajudas de rádio-navegação a curta (ILS), média e longa distância (VOR, DME, VDF, NDB/ADF, Radar);

*vertical*, com a indicação do altímetro ou rádio-altímetro;

*astronómica*, utilizando um sextante e tabelas;

*satélite*, com ajuda da informação obtida por satélites ( e.g. GPS);

*autónoma*, só com recurso a instrumentos instalados no avião (sistema de navegação inercial, Radar Doppler).

## 1. A forma da Terra

A Terra não é uma esfera perfeita mas é ligeiramente achatada nos polos (é aproximadamente um elipsóide). O diâmetro polar é de 6865 NM e o diâmetro equatorial 6888 NM, o que corresponde a uma diferença de apenas 0,3% (1 NM = 1 nautical mile = 1 MN = 1 milha náutica = 1,852 km). Por isso, para efeitos de navegação PPA (PPL) a Terra é considerada uma esfera perfeita.

### 1.1 Eixo e polos

Além do movimento da Terra à volta do Sol, a Terra gira sobre si mesma. O eixo desta rotação chama-se o *eixo da Terra* ou *eixo polar*, e os extremos do eixo os *polos geográficos* (ver Fig.1.1). Os polos geográficos servem de pontos de referência privilegiados na construção da graticula de coordenadas utilizada na navegação (ver abaixo).

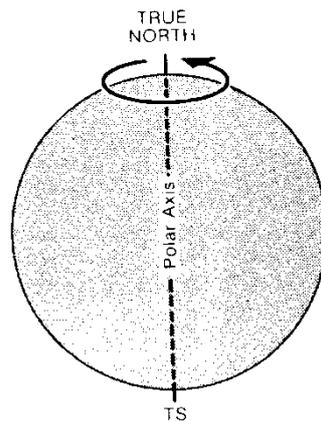


Fig. 1.1 - Eixo e polos.

### 1.2 Círculos máximos e círculos menores

Devido à superfície curva da Terra, não é possível desenhar uma linha recta na superfície. A distância mais curta entre dois pontos é um arco de um *círculo máximo*. O plano de qualquer círculo máximo passa pelo centro geométrico da esfera e divide-a assim em duas partes iguais (Fig.1.2). O raio e o centro de um círculo máximo são iguais aos da esfera. Um só círculo máximo pode ser desenhado ligando dois pontos na superfície da esfera (salvo no caso de pontos diametralmente opostos um do outro). A mais curta distância é o arco mais curto do círculo máximo, é uma trajectória *geodésica*.

*Círculos menores* são círculos traçados na superfície da esfera cujos planos não passam pelo centro geométrico da esfera (Fig.1.2). Por isso, o raio de um círculo menor é inferior ao raio da esfera e o seu centro não coincide com o centro de esfera.

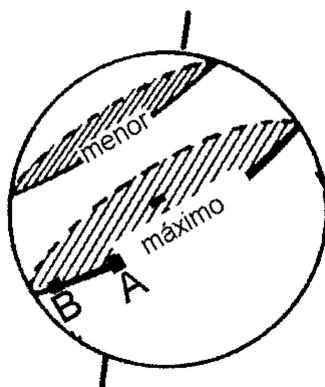


Fig. 1.2 - Círculo máximo e círculo menor. A trajetória indicada entre A e B é ortodrômica.

### 1.3 Meridianos, equador, paralelos de latitude e hemisférios

Para construção de uma quadrícula de coordenadas desenha-se um conjunto de linhas imaginárias na superfície da Terra (Fig.1.3).

*Meridianos* são semicírculos máximos que unem os polos. O meridiano e o respectivo *antimeridiano* formam um círculo máximo (Fig.1.3). Os meridianos definem a *longitude* de um ponto na Terra. Por definição, o meridiano que passa pelo Observatório de Greenwich na Inglaterra é o meridiano de  $0^{\circ}$ , o *prime meridian*. O meridiano de Greenwich e o seu antimeridiano dividem a Terra em dois hemisférios, o *Hemisfério Oeste* e o *Hemisfério Este* (Fig.1.4). Indo para o oeste, a graduação dos meridianos vai aumentando até  $W180^{\circ}$ , a posição do antimeridiano de Greenwich, e determina a longitude de pontos no hemisfério oeste. Para o este, os valores vão até  $E180^{\circ}$ , o que é outra vez o antimeridiano de Greenwich. Assim determina-se longitudes no hemisfério este. Nota:  $W180^{\circ}=E180^{\circ}$ .

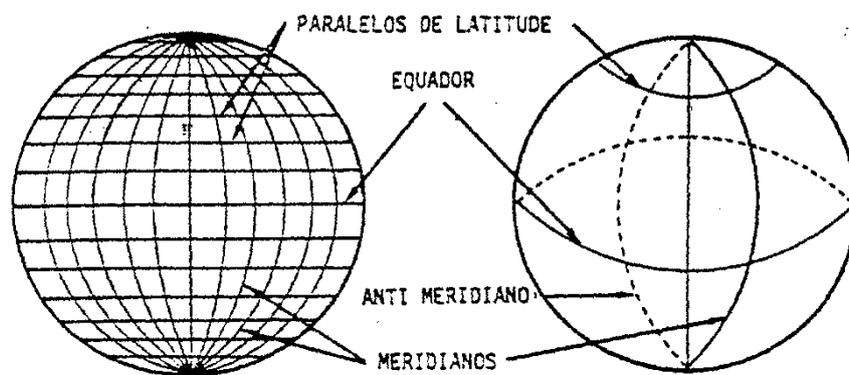


Fig. 1.3 - Meridianos, antimeridianos, equador e paralelos.

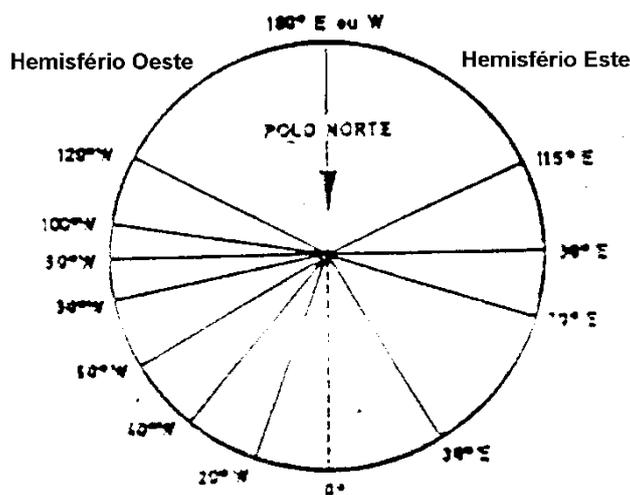


Fig. 1.4 - Meridianos.

O equador é o círculo máximo cujo plano é perpendicular ao eixo da Terra. O equador divide a Terra em dois outros hemisférios, o *Hemisfério Norte* e o *Hemisfério Sul* (Fig.1.5).

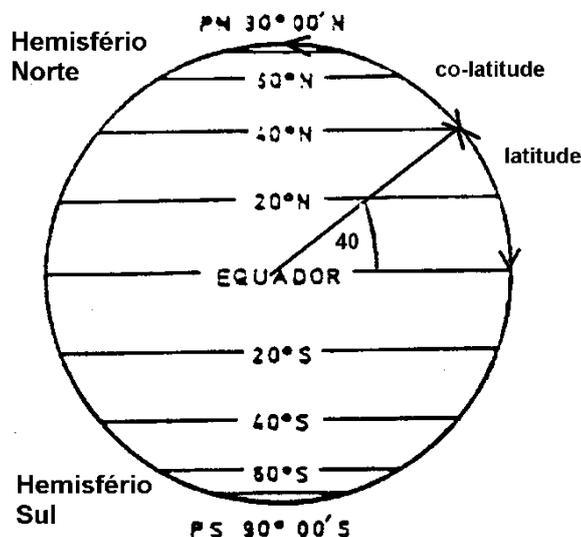


Fig. 1.5 - Paralelos de latitude.

Os *paralelos de latitude* são círculos menores cujos planos são paralelos ao plano do equador. A contagem dos paralelos vai no hemisfério norte de  $N00^0$  (equador) até  $N90^0$  (polo norte). No hemisfério sul os paralelos vão de  $S00^0$  (equador) a  $S90^0$  (polo sul). O equador ( $S00^0=N00^0$ ) é também considerado um paralelo de latitude e é o único paralelo que é ao mesmo tempo um círculo máximo. A latitude de um lugar é o ângulo do arco de meridiano entre o equador e o lugar. A *co-latitude* é o ângulo complementar, medido entre o lugar e o polo mais próximo.

A graticula de graus de longitude e latitude é subdividida em 60' (minutos) por grau e 60'' (segundos) por minuto. Os segundos podem ser ainda subdivididos, mas esta precisão não é necessária para a navegação aérea. Assim a posição do aeródromo de Coimbra é escrita como:

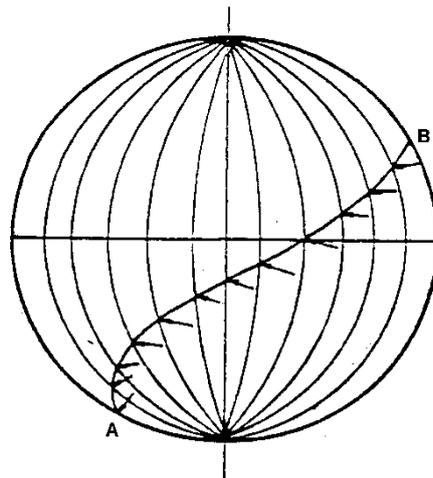
$N40^009'41''$   $W008^028'20''$  ou Lat.  $40^009'41''N$  Long.  $008^028'20''W$ .

É também utilizada a subdivisão decimal dos graus. A posição seria então escrita como

#### 1.4 Ortodrómicas e loxodrómicas

Uma *linha ortodrómica* é um arco de um círculo máximo (= GC = “Great Circle”), (não necessariamente de um meridiano ou do equador) que une dois pontos. Descreve então a distância mais curta entre dois pontos (na Fig.1.2 entre A e B).

Uma *linha loxodrómica* (= RL = “Rhumb Line”) cruza todos os meridianos segundo o mesmo ângulo (Figs.1.6 e 1.7). Quando dois lugares não estão situados sobre o equador ou sobre o mesmo meridiano, a distância loxodrómica entre eles não é a mais curta possível. (O equador e os meridianos são ao mesmo tempo linhas loxodrómicas e ortodrómicas). No entanto, loxodrómicas têm utilidade na navegação em distâncias não muito longas. Fig. 1.8 mostra um exemplo da diferença entre um trajecto loxodrómico e ortodrómico para uma distância longa. Para distâncias curtas (menos de 200 NM) a loxodrómica e a ortodrómica são praticamente iguais.



F1.6 - Loxodrómica.

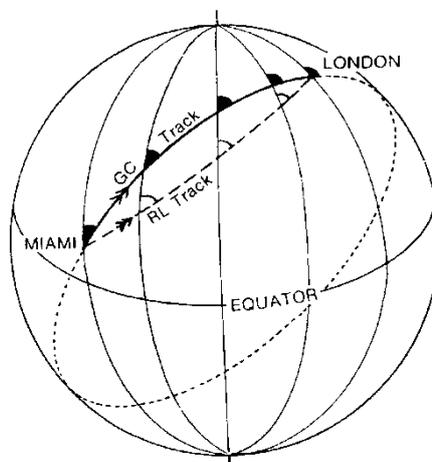


Fig. 1.7 Loxodrómica e ortodrómica.

*Proyección cónica de la ruta Madrid-Manila*

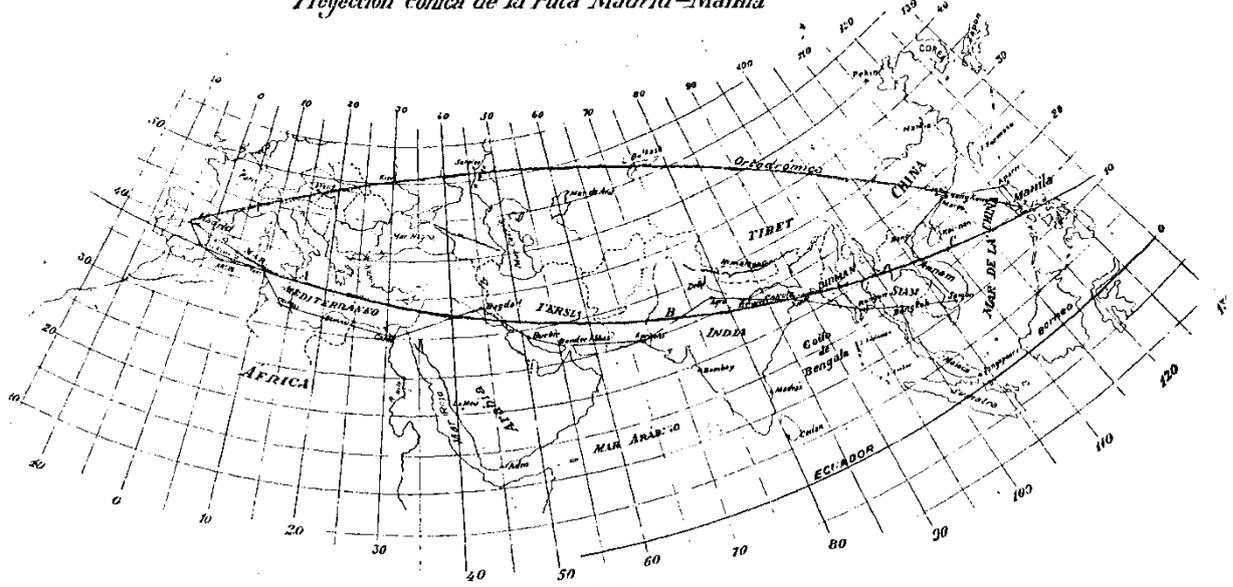


FIG. 26

MADRID - MANILA :  
ORTODRÓMICA ( G/G ) = 11.652 Km  
LOXODRÓMICA ( R/L ) = 12.530 Km

Fig. 1.8 - Rota loxodrómica e rota ortodrómica.

## 2. Cartografia

Obviamente não é praticável utilizar um globo para efeitos de navegação. A representação em escala pequena de uma parte da superfície da Terra numa superfície plana é o objectivo da cartografia. O ideal seria uma carta que possui

- escala uniforme,
- areas correctas (uma propriedade chamada *equivalência*),
- formas correctas, isto é, direcções e ângulos correctos (uma propriedade chamada *conformidade* ou *ortomorfismo*), a propriedade mais importante para a navegação,
- ortodrómicas representadas por linhas rectas.

O método para se obter uma carta com todas estas propriedades correspondia à tarefa de “planificação” da superfície terrestre. No entanto, não é possível representar a superfície curva da Terra num plano sem distorções. Por isso, temos de optar pelas propriedades mais úteis na navegação, a custo de outras. Se a carta é desenhada com determinado propósito, deve-o ser de tal modo que minimize o tipo de distorção que prejudique esse propósito. Para o efeito existem vários tipos de métodos chamados *projeções*.

De acordo com a finalidade de uso e a escala existem os termos *cartas, mapas, plantas e planos*. Na navegação utiliza-se o termo carta. Cartas *topográficas* contêm informação detalhada do relevo do terreno.

### 2.1 Escala

A *escala* de uma carta é a razão entre uma unidade de comprimento na carta e a verdadeira distância que ela representa na superfície da Terra. A escala não pode ser constante em todos os pontos e em todas as direcções ao longo de toda a carta, porque isto correspondia a uma projecção sem distorções da superfície terrestre num plano. No entanto, uma projecção pode ter uma escala aproximadamente constante. Fala-se de

*escala pequena* - que representa *grandes áreas* na carta, e.g. 1/5 000 000 ou 1/3 000 000;

*escala grande* - que representa *pequenas áreas* na carta, e.g. 1/25 000 ou 1/5 000.

Uma escala 1/1 000 000 significa: “1 cm na carta representa 1 000 000 cm na Terra”.

A *escala gráfica* de uma carta é representada por uma linha graduada que se encontra normalmente na margem da carta. Em muitas cartas existe além disso uma graduação fina ao longo dos meridianos, a *escala de latitudes* (Fig. 2.1). Utiliza-se o facto de que uma diferença de 1 minuto de latitude corresponde a 1 NM, por definição da milha náutica.

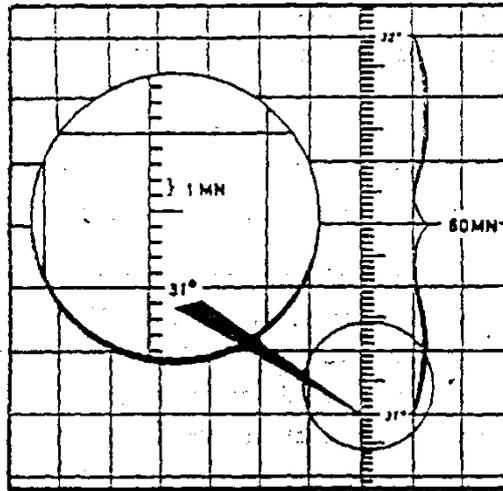


Fig. 2.1 – Escala de latitudes: meridiano graduado.

De acordo com a escala distingue-se os seguintes tipos de cartas

tipo da carta	escala
<i>carta geográfica</i>	<1/1 000 000
<i>carta corográfica</i>	1/1 000 000 ... 1/100 000
<i>carta topográfica</i>	1/100 000 ... 1/10 000
<i>plano</i>	1/10 000 ... 1/2 000
<i>planta</i>	>1/2 000

## 2.2 Projecções

O procedimento para se obter uma carta a partir da superfície terrestre pode ser visualizado como uma *projecção* da quadrícula dos meridianos e paralelos com ajuda de raios de luz numa superfície plana ou *planificável*. Uma superfície planificável pode ser transformada num plano sem esticar ou rasgar, isto é, sem distorções. Exemplos de superfícies planificáveis são o cone e o cilindro. Exemplo de uma superfície que não é planificável é a superfície de uma esfera, daí os problemas da cartografia. O método de obter cartas geometricamente por projecção é chamado *perspectivo* ou *geométrico*. No entanto, as cartas são muitas vezes obtidas por transformações matemáticas não geométricas em projecções chamadas *matemáticas*.

A classificação das projecções é feita de acordo com a posição do ponto (ou centro) da projecção (“a posição da lâmpada”) e de acordo com o tipo da superfície planificável utilizada. Assim temos de acordo com a posição do centro de projecção (Fig.2.2):

projecção	centro de projecção
<i>centrográfica (geocéntrica, gnomónica)</i>	no centro da Terra
<i>estereográfica</i>	na superfície da Terra
<i>cenográfica</i>	numa distância finita da Terra
<i>ortográfica</i>	no infinito



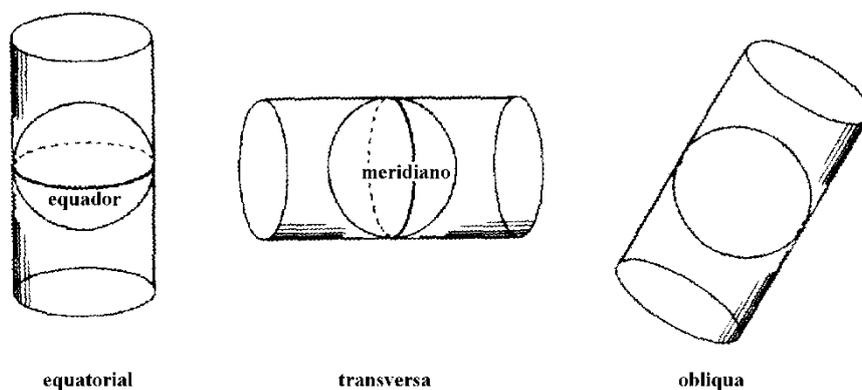


Fig. 2.4 - Projecções cilíndricas. As linhas tangentes nas projecções equatoriais e transversas são o equador ou meridianos, respectivamente, e nas projecções oblíquas são outros círculos máximos arbitrários (nem o equador nem um dos meridianos mas, por exemplo, a eclíptica).

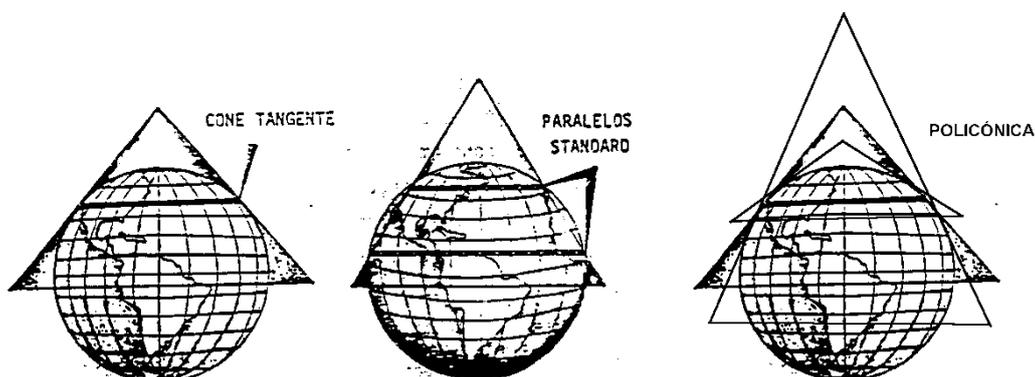


Fig. 2.5 - Projecções cónicas

Na navegação utiliza-se principalmente os seguintes três tipos de projecções *conformes*:

- *carta Mercator* - com uma projecção centrográfica cilíndrica equatorial,
- *carta conforme Lambert* - com uma projecção centrográfica cónica secante,
- *carta estereográfica polar* - com uma projecção estereográfica azimutal polar.

As principais propriedades destas cartas são:

	<i>Mercator</i>	<i>Conforme Lambert</i>	<i>Estereográfica polar</i>
ponto da projecção	centro da Terra	centro da Terra	polo oposto
superfície de projecção	cilindro tangente ao equador	cone secante	plano tangente ao polo
meridianos	linhas rectas paralelas igualmente espaçadas	linhas rectas que convergem para o polo	linhas rectas que partem do polo
paralelos de latitude	linhas rectas paralelas com espaçamento que aumenta com a latitude	arcos de círculos concêntricos quase igualmente espaçados	círculos concêntricos com espaçamento que aumenta com afastamento do polo
ortodrómica	linha curva (excepto equador e meridianos)	linha aproximadamente recta	linha aproximadamente recta
loxodrómica	linha recta	linha curva	espiral na direcção do polo
escala de distâncias	na latitude média	quase constante	quase constante
uso para latitudes (N ou S)	00 <sup>0</sup> ...04 <sup>0</sup>	04 <sup>0</sup> ...72 <sup>0</sup> em 3 escalonamentos ( <i>em princípio</i> )	72 <sup>0</sup> ...90 <sup>0</sup>

Todas estas projecções são *conformes* e a aparência das graticulas é representada na Fig. 2.6.

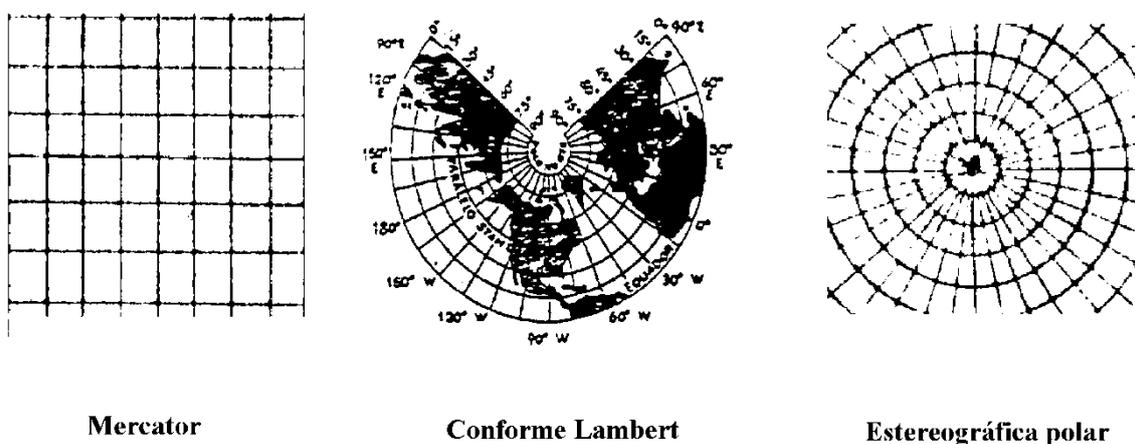


Fig. 2.6 - Graticulas das projecções mais utilizadas na navegação.

### 2.3 Conformidade e equivalência

Das várias características de uma carta, a *conformidade* (*conformismo*) é a mais importante para as cartas de navegação, porque os ângulos e os azimutes (direcções) não são distorcidos numa projecção conforme, o que é absolutamente vital. Qualquer projecção para ser conforme tem de satisfazer a seguinte condição: *a escala, em qualquer ponto da projecção, tem de ser independente do azimute*. Isto não implica, contudo, que as escalas em dois pontos diferentes na carta tenham de ser iguais. Significa simplesmente que a escala em qualquer ponto dado, para pequenas distâncias, será igual em todas as direcções. Como consequência, ângulos e azimutes são reproduzidos sem distorção; em particular, os meridianos intersectam os paralelos num ângulo de 90<sup>0</sup> como em

realidade na superfície da Terra. Uma outra consequência útil é a preservação de formas (contornos) em áreas pequenas. Resumimos:

Uma projecção conforme

- tem uma escala local independente da direcção;
- reproduz ângulos e azimutes num ponto sem distorção;
- representa uma graticula de meridianos e paralelos que se intersectam em ângulos rectos;
- preserva localmente as formas.

Projecções *equivalentes* são de “área constante”, isto é, uma determinada área da superfície terrestre é representada por uma área igual (á escala) em qualquer sítio da carta, embora a forma original seja distorcida. Onde as dimensões longitudinais aumentam por distorção, há uma diminuição correspondente em latitude para manter a área constante. Por outras palavras, quando a escala aumenta ao longo dos meridianos, diminui proporcionalmente ao longo dos paralelos. As cartas equivalentes são de pouco valor para a navegação porque *não podem ser conformes!*

## 2.4 Distâncias

A unidade de distância (horizontal) normalmente utilizada na navegação é a *milha náutica* (= MN = NM = “nautical mile”), que é a distância correspondente a um arco de 1/21 600 da circunferência da esfera terrestre. Isto é, um arco de 1 grau de um círculo máximo tem o comprimento de 60 NM, ou 1 NM corresponde a um arco de 1 minuto de um círculo máximo. Em paralelo com o metro, que foi historicamente a 40 000 000<sup>ma</sup> parte do perímetro da Terra (medido no equador), mas que é hoje definido por métodos mais precisos, a definição moderna da milha náutica é 1 NM = 1,852 km exactamente.

Os círculos máximos que aparecem nas cartas de navegação são obviamente os meridianos e levam, por isso, uma escala graduada de minutos de latitude, isto é, de milhas náuticas (Fig. 2.1). Como nas cartas Mercator, Conforme Lambert e Estereográfica polar a escala não é constante ao longo de um meridiano, há que medir as distâncias utilizando a *escala de latitudes num meridiano, na latitude média* entre os pontos extremos da rota. As escalas de distâncias que aparecem na margem das cartas ou as escalas no *plotter* não dão indicações tão precisas como a escala de latitudes.

Resumindo: A unidade de distância é 1 NM = 1’ de latitude (então medido ao longo de um meridiano) = 1,852 km. A medição de distâncias entre A e B é feita com a escala na latitude média entre A e B.

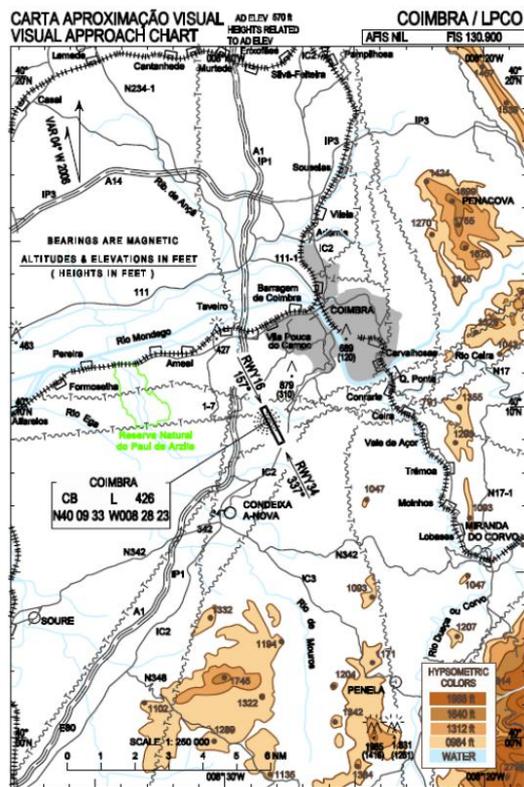
Nota: ao longo dos *paralelos* de latitude, a variação de 1 minuto de *longitude* = 1 NM x *cos(latitude)*.

## 2.5 Cartas aeronáuticas

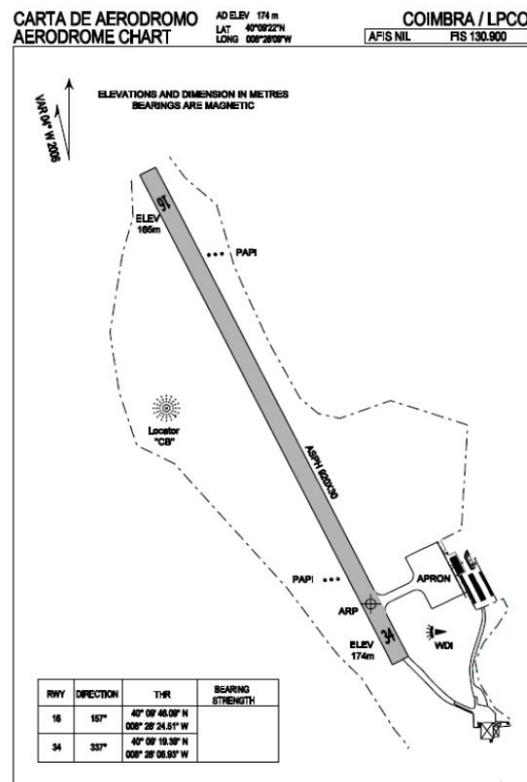
A ICAO (“International Civil Aviation Organisation” = Organização Internacional da Aviação Civil = OACI) estabelece, na conferência Internacional de Aviação, no Anexo 4 à Convenção de Montreal de 1948, os tipos de cartas para a navegação aérea. O sistema de projecções das cartas ICAO é Mercator, Conforme Lambert e Estereográfica Polar de acordo com as latitudes (ver na tabela acima). Excepção desta regra são cartas Mercator do mundo inteiro à escala média de 1/5 000 000 para o estudo de grandes rotas e cartas de grande escala destinadas ao tráfego de aeródromo. Os tipos, de acordo com a última emenda do Anexo 4 de 1985 são:

- 1- *Aerodrome Obstacle Chart* - carta de obstáculos do aeródromo (1/10 000 ... 1/20 000), é utilizada para a determinação de alturas mínimas de segurança, procedimentos de “circling”, procedimentos de emergência à descolagem e aterragem e de ultrapassagem de obstáculos.
- 2- *Precision Approach Terrain Chart* - carta terreno de aproximação de precisão (escala horizontal 1/2 500 e escala vertical 1/500), fornece informação detalhada do perfil do terreno na área de aproximação para a determinação da Decision Height (DH) ou Decision Altitude (DA).
- 3- *Enroute Chart* - carta de rota (escalas várias, projecção conforme), contém informação necessária à navegação nas rotas ATS (Air Traffic Service).
- 4- *Area Chart* - Carta terminal, informação para voo por instrumentos, na transição entre a rota e a aproximação a um aeródromo, na transição entre descolagem/aproximação falhada e rota, e através de áreas de rotas ATS complexas.
- 5- *Standard Departure Chart - Instruments (SID)* - carta de saída-padrão por instrumentos (escala gráfica ou “NOT TO SCALE”), contém informação para conduzir o voo por instrumentos desde a fase de descolagem até à fase de rota.
- 6- *Standard Arrival Chart - Instruments (STAR)* - carta de chegada-padrão por instrumentos (escala gráfica ou “NOT TO SCALE”), contém informação para conduzir o voo por instrumentos desde a fase de rota até à fase de aproximação.
- 7- *Instrument Approach Chart* - carta de aproximação por instrumentos (escala várias), contém informação para procedimentos aprovados de aproximação por instrumentos até à pista, incluindo os procedimentos de espera. Cartas separadas para aproximação precisão e não-precisão.
- 8- *Visual Approach Chart* - carta de aproximação visual (1/200 000, 1/250 000 ou 1/500 000), permite transitar da fase da rota/descida para a fase de aproximação à pista por meio de referências visuais. Destina-se a aeródromos onde há disponibilidade limitada de ajudas à navegação, ou onde não há facilidades de comunicação rádio, ou não há cartas de aeródromo adequadas de escala superior a 1/500 000, ou onde foi estabelecido um procedimento de aproximação visual.
- 9- *Aerodrome Chart* - carta de aeródromo (escala grande), para facilitar o movimento no solo entre estacionamento e pista, e contém informação operacional do aeródromo.
- 10- *Aerodrome Ground Movement Chart* - carta de movimento no aeródromo, carta suplementar que contém informação detalhada para facilitar o movimento das aeronaves no solo.
- 11- *Aircraft Parking/Docking Chart* - carta de estacionamento, carta suplementar para movimento no solo entre os caminhos de rolagem (taxiways) e as áreas de estacionamento.
- 12- *World Aeronautical Chart (WAC)* - carta de navegação visual (1/1 000 000 e 1/500 000), para a navegação visual.
- 13- *Plotting Chart* - carta de traçado (1/3 000 000 ... 1/7 500 000), para registo contínuo em voo do trajecto da aeronave pela marcação de fixos, principalmente nas rotas oceânicas.
- 14- *Air Navigation Chart* - carta de navegação aérea (1/2 000 000 ... 1/5 000 000), destinam-se à navegação de longa distância e grande altitude.

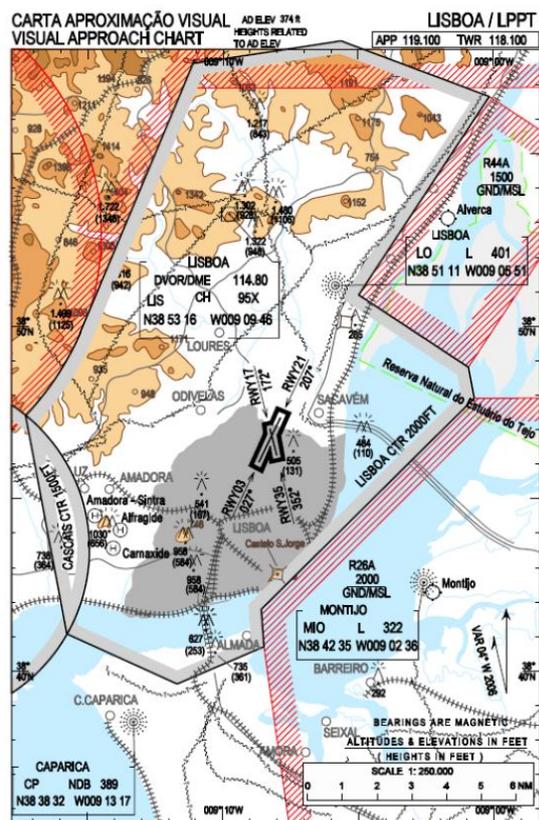
Em seguida vemos alguns exemplos destas cartas aeronáuticas especiais.



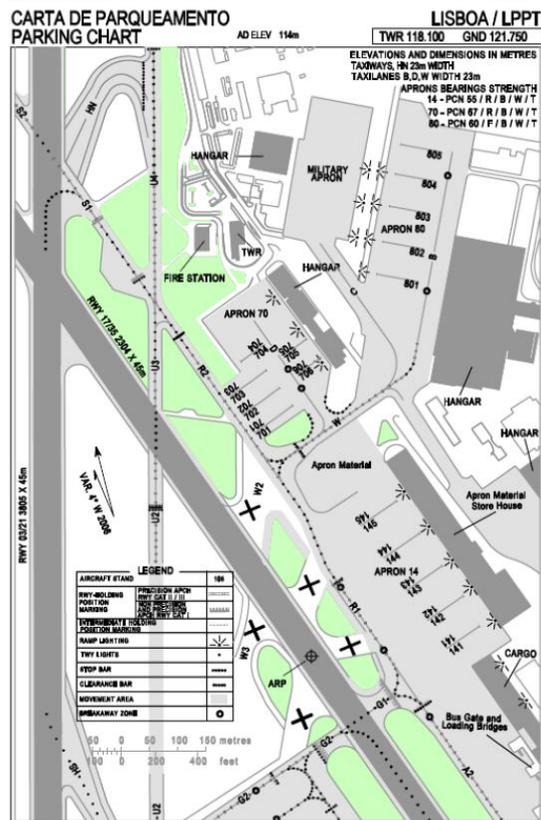
COIMBRA / LPCO MAR2011



COIMBRA / LPCO MAR2011



LISBOA / LPPT OCT 2010

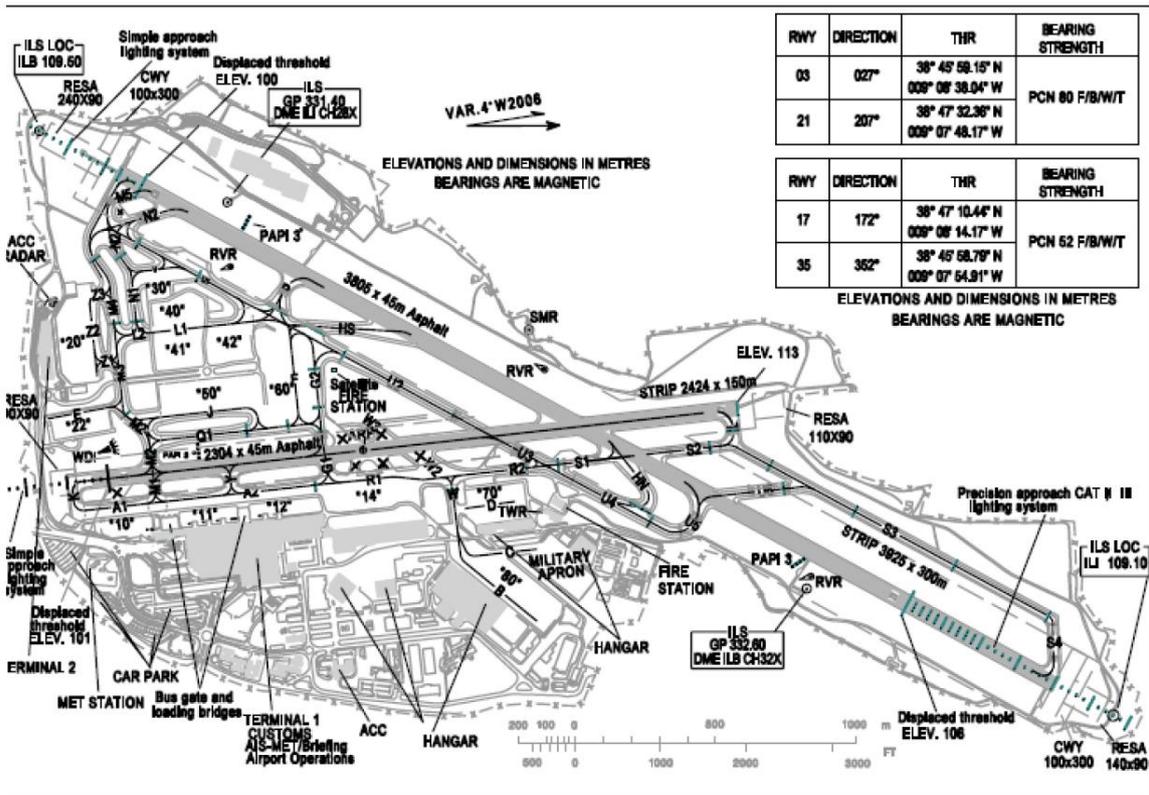


LISBOA / LPPT MAR 2010

Fig. 2.7 – Cartas relativas a aeródromos.

015 - PORTUGAL

MAR 2010



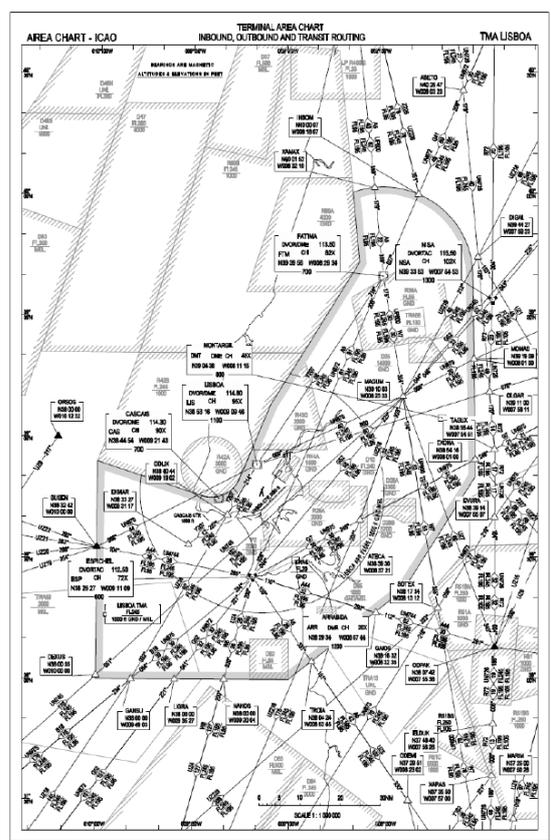
CARTA DE AERODROMO  
AERODROME CHART

AS ELEV 114m  
LAT 38°46'27"N  
LONG 009°08'37"W

LISBOA / LPPT  
THR 118.100 GND 121.750

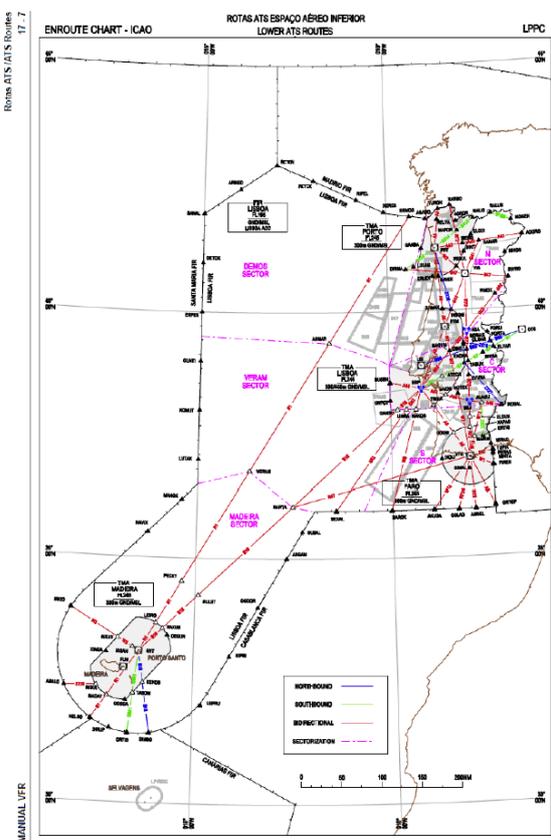
015 - PORTUGAL

ATIS 015 12



015 - PORTUGAL

MANUAL VFR



015 - PORTUGAL

MANUAL VFR

Fig.2.8 – Outros exemplos de cartas aeronáuticas.

## 2.6 Símbolos e escalas de conversão de unidades em cartas aeronáuticas

Na margem encontra-se frequentemente informação sobre os símbolos especiais utilizados na representação da informação cartográfica. Os símbolos que podem aparecer nos vários tipos de cartas aeronáuticas para descrever a topografia, o relevo, pontos culturais e informação aeronáutica são representados nas Figs. 2.9 - 2.14. A Fig. 2.15 indica um exemplo de escalas de conversão para altitudes (entre metros e pés) e para distâncias (entre milhas náuticas, milhas terrestres e quilómetros). Temos as relações

1 ft = 1' = 0,3048 m,

1 statute mile (milha terrestre americana) = 1,609244 km,

1 NM = 1,852 km.

Estas unidades têm origens históricas diferentes, mas são hoje definidas com base no metro.

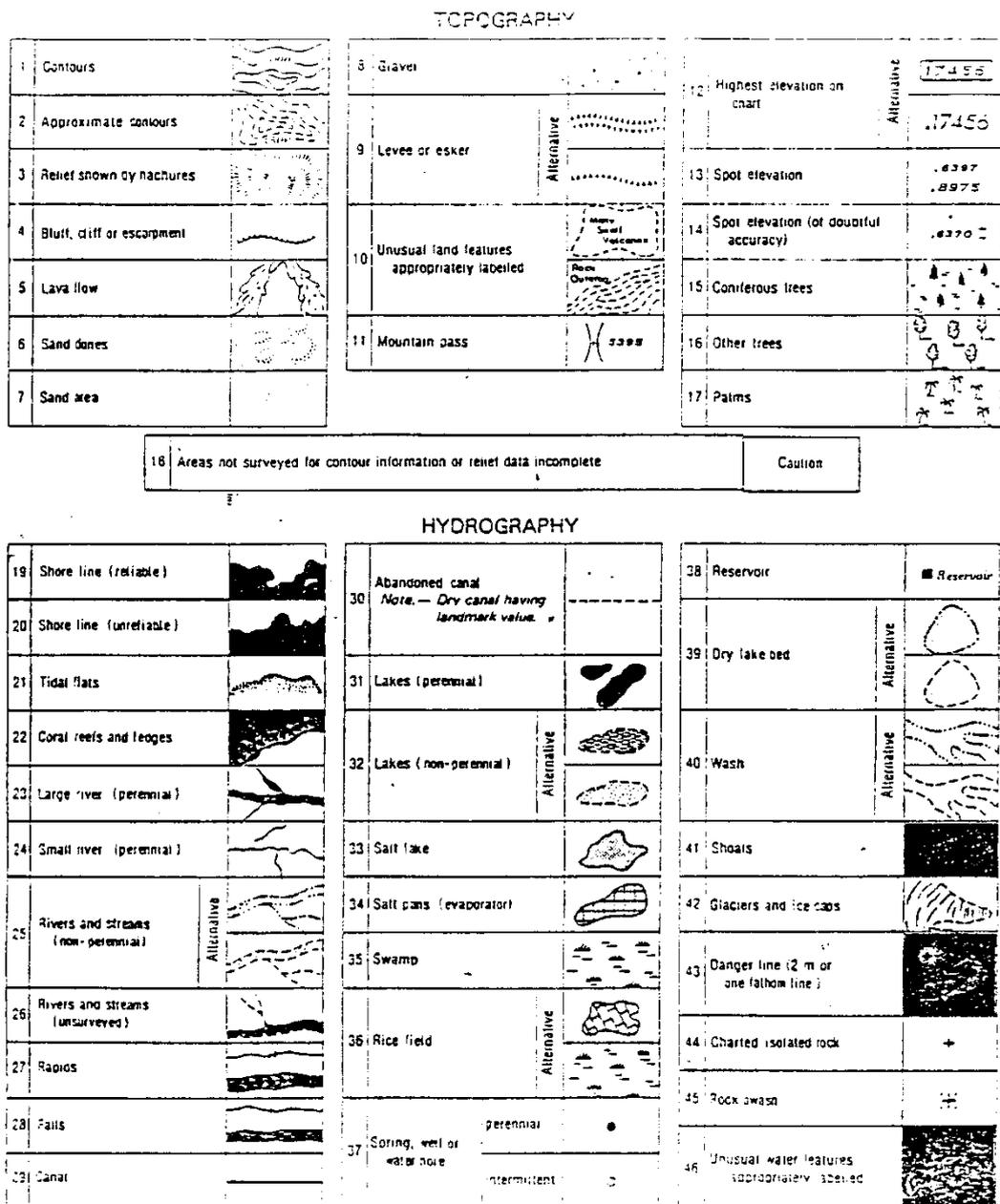


Fig. 2.9 - Símbolos topográficos e hidrográficos.

CULTURE

BUILT-UP AREAS		HIGHWAYS AND ROADS		MISCELLANEOUS (Cont'd)				
47	City or large town		57	Dual highway		69	Pipeline	
48	Town		58	Primary road		70	Oil or gas field	
49	Village		59	Secondary road		71	Tank farms	
50	Buildings		60	Trail		72	Coast guard station	
<b>RAILROADS</b>		<b>MISCELLANEOUS</b>		73	Lookout tower			
51	Railroad (single track)		63	Boundaries (international)		74	Mine	
52	Railroad (two or more tracks)		64	Other boundaries		75	Forest ranger station	
53	Railroad (under construction)		65	Fence		76	Race track or stadium	
54	Railroad bridge		66	Telegraph or telephone line (when a landmark)		77	Ruins	
55	Railroad tunnel		67	Dam		78	Fort	
56	Railroad station		68	Ferry		79	Church	
						80	Mosque	
						81	Pagoda	
						82	Temple	

Fig. 2.10 - Símbolos de pontos culturais.

AERODROMES			
83	Civil	Land	
84	Civil	Water	
85	Military	Land	
86	Military	Water	
87	Joint civil and military	Land	
88	Joint civil and military	Water	
89	Emergency aerodrome or aerodrome with no facilities		
90	Sheltered anchorage		
Aerodrome for use on charts on which aerodrome classification is not required e.g. Enroute Charts			
91			
Heliport			
92	Note: - Aerodrome for the exclusive use of helicopters		

Note. - Where required by the function of the chart, the runway pattern of the aerodrome may be shown in lieu of the aerodrome symbol, for example:

AERODROME DATA IN ABBREVIATED FORM WHICH MAY BE USED IN ASSOCIATION WITH AERODROME SYMBOLS (Reference: 16.3.2.2 and 17.3.2.2)

94	Elevation given in the units of measurement (metres or feet) selected for use on the chart	Name of aerodrome	Length of longest runway in hundreds of metres or feet (whichever unit is selected for use on the chart)
	Minimum lighting - obstacles, boundary or runway lights and lighted wind indicator or landing direction indicator		
	257 L M 15	LIVINGSTONE	Runway hard surfaced, normally all weather

Note. - A dash (-) is to be inserted where L or H do not apply.

AERODROME SYMBOLS FOR APPROACH CHARTS	
95	Aerodromes affecting the traffic pattern on the aerodrome on which the procedure is based
96	The aerodrome on which the procedure is based

Fig. 2.11 - Símbolos relativos a aeródromos.

**RADIO NAVIGATION AIDS\***

97	Basic radio navigation aid symbol <i>Note. — This symbol may be used with or without a box to enclose the data.</i>		
98	Non-directional radio beacon	NOB	
99	VHF omnidirectional radio range	VOR	
100	Distance measuring equipment	DME	
101	Collocated VOR and DME radio navigation aids	VOR/DME	
102	UHF tactical air navigation aid	TACAN	
103	Collocated VOR and TACAN radio navigation aids	VORTAC	
104	Radio marker beacon	Elliptical	
		Bone Shape	

*Note. — Marker beacons may be shown by outline, or stipple, or both.*

\**Note. — Guidance material on the presentation of radio navigation aid data is given in the Aeronautical Chart Manual (Doc 3697).*

**RADIO RANGES\*\***

105	VHF four-course visual-aural radio range VAR									
106	VHF two-course radio range (visual)									
107	Compass rose To be orientated on the chart in accordance with the alignment of the station (normally Magnetic North)									
	Compass rose to be used as appropriate in combination with the following symbols:	<table border="1"> <tr> <td>VOR</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VOR/DME</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TACAN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VORTAC</td> <td></td> </tr> </table>	VOR		VOR/DME		TACAN		VORTAC	
VOR										
VOR/DME										
TACAN										
VORTAC										

*Note. — Additional points of compass may be added as required.*

\*\**Note. — The heavy line indicates the "N" quadrant. The bearings shown are magnetic and the magnetic variation at the position of the ground station is used for computing them. Reciprocal magnetic bearings may be added if required.*

Fig. 2.12 - Símbolos relativos a ajudas-rádio.

### AIR TRAFFIC SERVICES

103	Flight information region	FIR			
109	Aerodrome traffic zone	ATZ		114	Advisory route ACR 
110	Control area Airway Controlled route	CTA AWY	 <i>Alternative</i>	115	Reporting point REP Compulsory ▲ On request △
				116	Change-over point COP To be superimposed on the appropriate route symbol at right angles to the route. 
111	Uncontrolled route			117	ATS/MET reporting point MRP Compulsory ◩ On request ◪
112	Advisory area	ADA		118	Way-point WPT 
113	Control zone	CTR			

### AIRSPACE RESTRICTIONS

119	Restricted airspace (prohibited, restricted or danger area)		Common boundary of two areas	
<i>Note. — The angle and density of rulings may be varied according to scale, and the size, shape and orientation of the area.</i>				
120	International boundary closed to passage of aircraft except through air corridor			

### OBSTACLES

121	Obstacle		125	Exceptionally high obstacle (optional symbol)	
122	Lighted obstacle		126	Exceptionally high obstacle — lighted (optional symbol)	
123	Group obstacles		<i>Note. — For obstacles having a height of the order of 300 m (1 000 ft) above terrain.</i>		
124	Lighted group obstacles		127	Elevation of top (italics)	 Height above specified datum (upright type in parentheses)

### MISCELLANEOUS

128	Prominent transmission line		129	Isogonic line or isogonal	
100	Ocean station vessel (normal position)				

### VISUAL AIDS

Marine light			<i>Note 1. — Marine alternating lights are red and white unless otherwise indicated. Marine lights are white unless colours are stated.</i>			
101	<i>Note 2. — Characteristics are to be indicated as follows:</i>	Alt Alternating	Fl Flashing	Occ Occulting	sec Second	
		B Blue	G Green	R Red	(U) Unwatched	
		F Fixed	Gr Group	SEC Sector	* White	
102	Aeronautical ground light		103	Lightsign		

Fig. 2.13 - Símbolos relativos a tráfico aéreo.

### SYMBOLS FOR AERODROME CHARTS

134 Hard surface runway		
135 Unpaved runway		
136 Stopway	SWY	
137 Taxiways and parking areas		
138 Helicopter alighting area on an aerodrome		
139 Aerodrome reference point	ARP	
140 Inertial navigation systems (INS) check-point		
141 VOR check-point		
142 Runway visual range (RVR) observation site		
143 Pierced steel plank or steel mesh runway		
144 Point light		
145 Obstacle light		
146 Landing direction indicator (lighted)		
147 Landing direction indicator (unlighted)		

### SYMBOLS FOR AERODROME OBSTACLE CHARTS — TYPE A, B AND C

	Plan	Profile		Plan	Profile
148 Tree or shrub	*	Identification number 	153 Terrain penetrating obstacle plane		
149 Pole, tower, spire, antenna, etc.	o		154 Escarpment		
150 Building or large structure	■		155 Stopway	SWY	
151 Railroad			156 Clearway	CWY	
152 Transmission line or overhead cable					

Fig. 2.14 - Símbolos relativos a cartas de aeródromos.

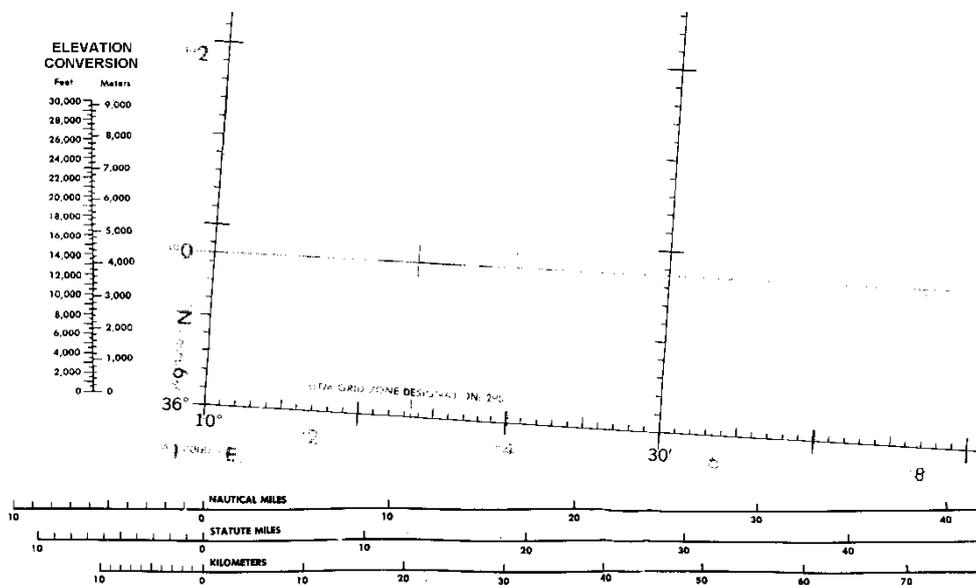


Fig. 2.15 - Escalas de conversão numa carta aeronáutica.

### 3. A carta Conforme Lambert 1/500 000

Excepto perto dos polos e do equador, utiliza-se a projecção Conforme Lambert para as cartas de navegação aérea. Para voos visuais as cartas apropriadas são as WAC (“World Aeronautical Charts”). Tendo em vista o tipo de voos (VFR = “Visual Flight Rules”) num curso de PPA, vamos estudar principalmente as cartas 1/500 000 que têm maior detalhe em relação às cartas de 1/1 000 000.

#### 3.1 Propriedades principais

Resumimos as principais propriedades da projecção Conforme Lambert:

- ponto da projecção - o centro da Terra;
- superfície de projecção - cone secante;
- meridianos - linhas rectas que convergem para o polo;
- paralelos - arcos de círculos concêntricos quase igualmente espaçados;
- ortodrómica - linha aproximadamente recta;
- loxodrómica - linha curva;
- escala - quasi constante;
- uso -  $04^{\circ}$ ... $72^{\circ}$  N e S, em 3 escalonamentos (*em princípio*).

Os três escalonamentos diferem na escolha dos paralelos standard do cone secante. Estes são seleccionados a 1/6 e 5/6 do comprimento total do meridiano central que aparece na carta. Definido isto, é suficiente indicar a *latitude média* da carta:

- 1- latitude média  $16^{\circ}$ , latitudes limite  $04^{\circ}$  e  $28^{\circ}$ ;
- 2- latitude média  $38^{\circ}$ , latitudes limite  $28^{\circ}$  e  $48^{\circ}$ ;
- 3- latitude média  $60^{\circ}$ , latitudes limite  $48^{\circ}$  e  $72^{\circ}$ .

No entanto, há cartas que usam outros paralelos standard:

**TRUE SCALE:**  
For the European VFR+GPS chart coverage, Standard Parallels are defined at  $N40^{\circ}$  and  $N52^{\circ}$ . Therefore, true scale of this chart differs slightly from 1:500,000. The deviation which is valid at the given latitude, is depicted next to the scale bar.

**UNITS OF MEASUREMENT:**  
Spot elevations, flight altitudes and heights of obstacles are always indicated in feet. Dimensions of RWYs are indicated in metres (m), long distances in Nautical Miles (NM).

**PLANNING A SAFE FLIGHT ALTITUDE:**  
When planning and conducting a flight under VFR, we recommend maintaining an altitude at or above the depicted MINIMUM GRID AREA ALTITUDES. When below the Grid Area Altitude (during departure or landing), use charts at more suitable scales, e.g. a Visual Approach and Landing Chart or an Area Chart contained in the Jeppesen VFR Manual or in other publications.

Lambert Conformal Conic Projection  
Standard Parallels:  $33^{\circ}20'$  and  $38^{\circ}40'$   
Convergence factor 0.58800

#### CAUTION

AIR INFORMATION CURRENT THROUGH  
4 APRIL 1991  
Consult NOTAMS and Flight Information  
Publications for the latest air information; the  
DMA Aeronautical Chart Updating Manual or  
MOD (UK) Aeronautical Chart Amendment  
Document for other chart revision information.

LINES OF EQUAL MAGNETIC VARIATION FOR 1990  
(Annual Rate of Change -7' decrease)

Fig 3.1 – Partes das legendas de duas cartas aeronáuticas diferentes.

### 3.2 Convergência dos meridianos

O princípio de construção é uma projecção num cone, e este é depois planificado. Corta-se então o cone ao longo de um meridiano. Como é fácil de verificar, a superfície do cone, quando planificada, forma uma secção de um disco que não ocupa os  $360^0$  (Fig. 2.6). Isto é, uma variação completa, na Terra, de  $360^0$  de longitude não ocupa  $360^0$  na carta, o que significa que os meridianos representados estão inclinados uns para os outros num ângulo menor do que a diferença de longitude entre eles. Define-se então o *ângulo de convergência* que é o ângulo na carta formado entre o meridiano de Greenwich e outro qualquer medido no polo. Este é calculado, para um meridiano dado, usando um valor chamado *factor de convergência*, que vem escrito na margem da carta. Uma carta que representa os  $360^0$  de variação de longitude na Terra em  $250^0$  no papel tem um factor de convergência de  $250/360 = 0,6944$ . Neste exemplo, o meridiano W90 forma o ângulo de convergência de  $62,5$  graus com o meridiano de Greenwich ( $90 \times 0,6944 = 62,5$ ).

### 3.3 Ortodrómicas e escala

Uma ortodrómica descreve a distância mais curta entre dois pontos. Na carta Conforme Lambert as ortodrómicas são aproximadamente linhas rectas. Em termos práticos, o ângulo do rumo é lido a meio caminho (porque a linha recta é só aproximadamente uma ortodrómica).

Na construção da carta Conforme Lambert o cone corta o globo em dois paralelos standard. Por isso a escala é “correcta” nestas duas latitudes. No meio entre os paralelos standard a superfície da Terra é representada comprimida (pequena demais) e fora dos paralelos standard (na direcção das margens sul ou norte da carta) a representação da superfície terrestre aparece exagerada (grande demais). Os meridianos têm por isso uma escala de milhas náuticas que é utilizada na navegação para medir distâncias. Em termos práticos, lê-se a escala numa latitude média entre os dois pontos extremos da rota ortodrómica (aproximada). Contudo, os erros de escala nas cartas Conforme Lambert são muito pequenos.

### 3.4 Representação de elevações e relevo

Para conduzir um voo com segurança o piloto de uma aeronave tem de ter em conta a elevação do terreno e dos obstáculos. Na maioria das cartas a indicação de elevações tem como ponto de referência o *nível médio do mar* (= MSL = “mean sea level”), que tem por definição a elevação zero. Fala-se de *altitude* e elevação acima do nível médio do mar (= AMSL = “above mean sea level”). Temos de distinguir altitudes e *alturas* acima do terreno (= AGL = “above ground level”). Alturas têm como ponto de referência o nível do terreno para indicar por exemplo a elevação de obstáculos. A indicação das elevações pode ser em *metros* ou em *pés* (= ' = ft = “feet”). Temos a relação  $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$ . É importante verificar qual a unidade utilizada na carta! Esta informação encontra-se na margem da carta. Há várias maneiras de indicar as altitudes do relevo e dos obstáculos (Fig. 3.1):

- Curvas de nível: Na Fig. 3.1 as curvas de nível têm um intervalo de 500 pés, levando as curvas de 1000 pés, 2000 pés etc. uma indicação numérica, assim como a curva de 250 pés.
- Gradiente colorido: O relevo indicado pelas curvas de nível é também realçado nas cartas por um sistema de gradiente de cores. Cores diferentes designam áreas dentro de certas gamas de elevação. A carta tem na margem a correspondente indicação do significado das cores.
- Sombreado: Um sombreado gradual é aplicado no lado Sueste das elevações e no lado Noroeste das depressões, para dar um efeito plástico à carta.
- Indicação numérica de pontos isolados: No caso de picos de montanhas e pontos de máxima elevação, a carta tem a indicação da altitude destes.

•Obstáculos: No caso de obstáculos (torres, mastros altos etc.) é dada a indicação da altitude; a altura acima do terreno é também dada entre parênteses.

•Altitudes de aeródromos: Todos os aeródromos têm a indicação da altitude máxima das pistas. Indicação numérica abreviada da altura máxima dentro de um rectângulo da quadrícula: a altitude mais elevada tem a indicação em números grandes dos milhares e números pequenos das centenas. Exemplo: 12<sup>5</sup> significa 12 500 pés. Esta indicação contém uma margem de segurança de 200 pés acima do ponto mais alto do terreno para incluir obstáculos e é arredondada para a centena inteira superior (*em princípio*).

Na Fig. 3.2 cada rectângulo é de 30' de longitude por 30' de latitude.

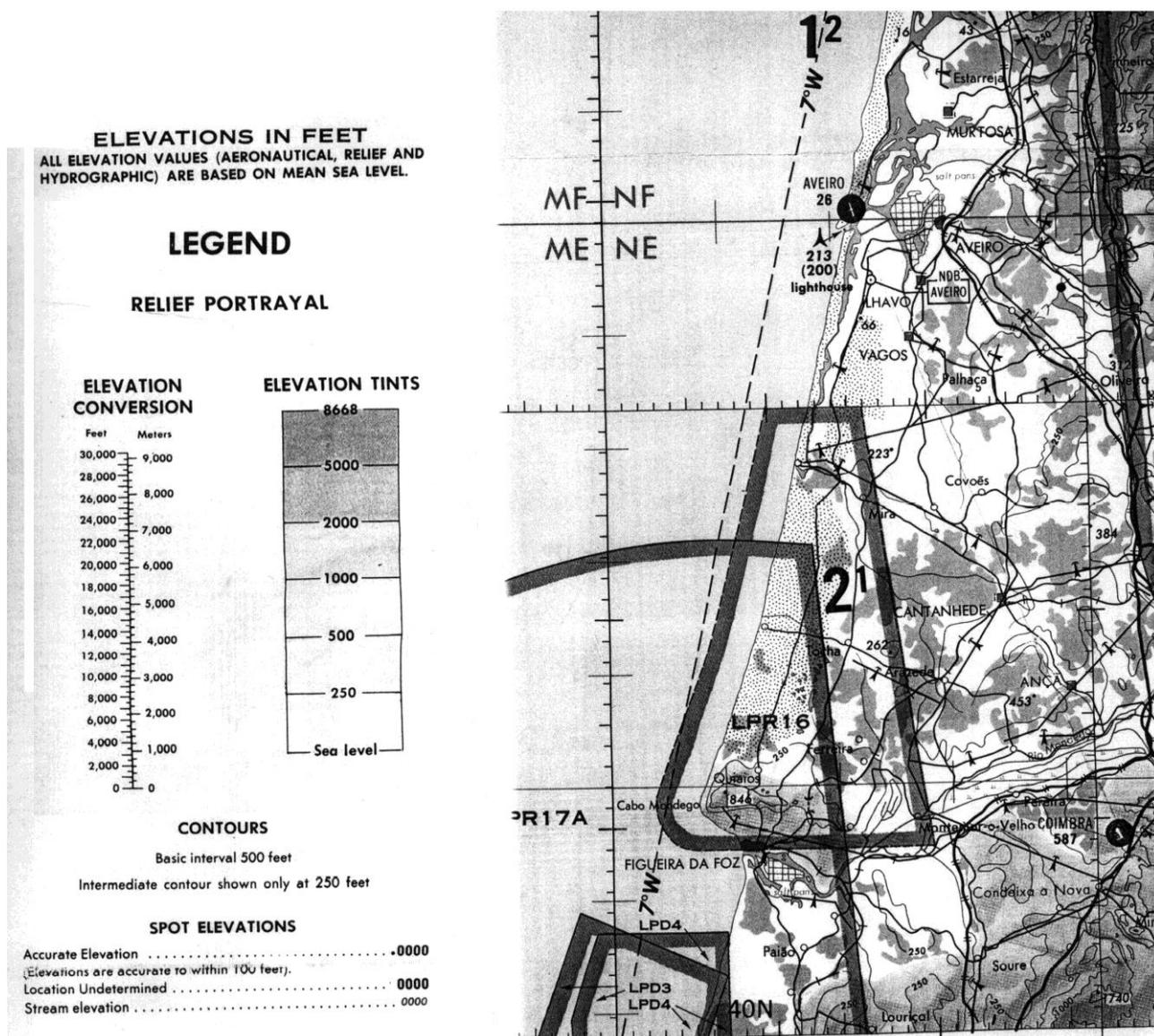


Fig. 3.2 - Indicação de altitudes.

A definição dos números de máxima elevação pode variar,:

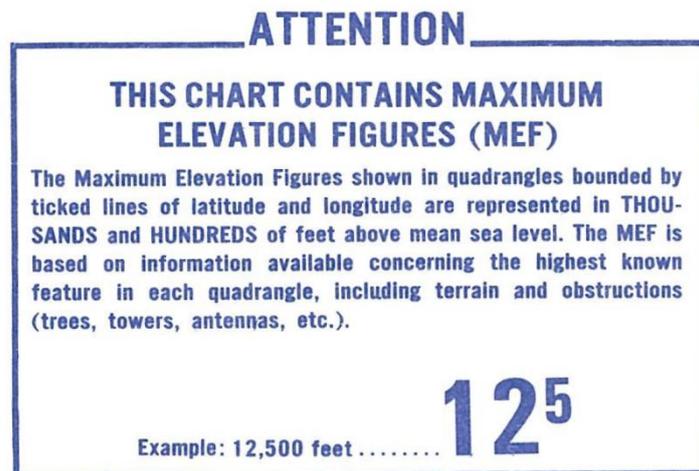


Fig. 3.3 – Maximum elevation figures MEF.

Outras cartas trazem em vez da *maximum elevation figure* a *minimum grid area altitude*.

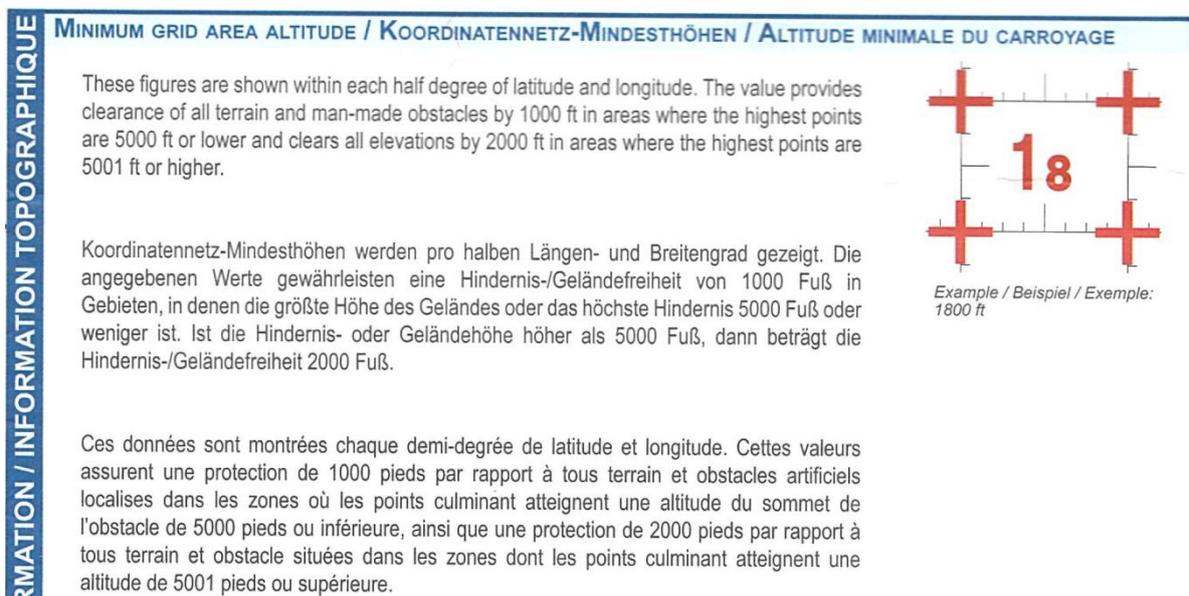


Fig. 3.4 – A minimum grid area altitude MGAA contém uma margem superior, de 1000' ou 2000'.

## 4. Direcções

Para prosseguir uma rota desejada o piloto tem de manter uma certa direcção. De facto há de distinguir entre *azimute* (*bearing*, a direcção até um certo ponto no terreno), rumo (*heading*, para onde aponta o nariz do avião), caminho (*track*, para onde vai o avião de facto, devido ao vento) e rota (*course*, caminho planeado), mas de momento falamos genericamente de direcção. O método mais comum de expressar uma direcção é o de usar pontos cardiais (N, S, E, W) e colaterais (NE, SE, NW, SW). Contudo, isto não satisfaz o navegador aéreo que necessita de medir direcções com a precisão de um grau.

### 4.1 Direcção angular (azimute)

A direcção (azimute) expressa-se como sendo um ângulo medido no sentido do movimento dos ponteiros de um relógio, a partir da direcção Norte (Fig.4.1). Deste modo, Norte é  $000^0 = 360^0$ , Este é  $090^0$ , Sul  $180^0$  e Oeste  $270^0$ , utilizando-se sempre três algarismos na indicação de direcções. Infelizmente, há diversos pontos de referência, ou “Nortes”, a partir dos quais se pode medir uma direcção: o Norte Verdadeiro, o Norte Magnético e o Norte da Bússola.

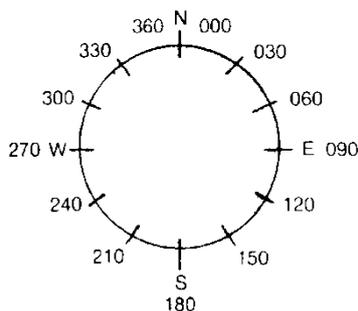


Fig. 4.1 - Direcções.

### 4.2 Norte Verdadeiro e Norte Magnético

O *Norte Verdadeiro* (=  $N_v$  = “True North” = TN) é a direcção do polo Norte geográfico. As direcções medidas em relação ao NV dizem-se *verdadeiras*.

Um avião é normalmente dirigido por referência a uma bússola magnética. Uma bússola é um ímã suspenso livremente que é influenciado pelo campo magnético da Terra. A Terra pode ser imaginada um ímã gigante (embora de potência fraca) com os polos magnéticos que não coincidem com os polos N e S geográficos (Fig. 4.2). O *Norte Magnético* (=  $N_m$  = “Magnetic North” = MN) para o qual aponta a bússola encontra-se a uma distância considerável do Norte geográfico, a mais de mil milhas náuticas. Por isso, a bússola não indica direcções verdadeiras, mas direcções ditas *magnéticas*.

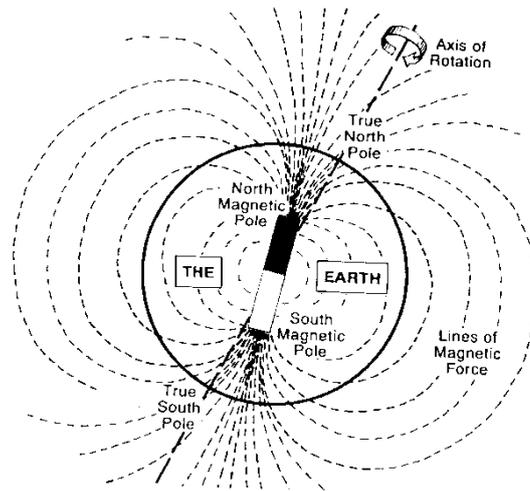
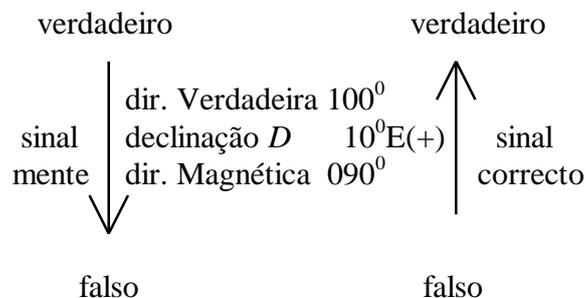


Fig. 4.2 - O campo magnético da Terra.

O valor angular entre o Norte Verdadeiro e o Norte Magnético é chamado *declinação D* (“variation” em inglês). Como se pode verificar na Fig. 4.3, a declinação depende da posição na Terra. A declinação pode ser para Este (o íman da bússola aponta para um ponto a Leste do NV) ou para Oeste. Existem também influências locais (depósitos de metais ferromagnéticos na crosta da Terra, por exemplo) que afectam o campo magnético. Cartas de navegação contêm por isso informação sobre a declinação em forma de linhas *isogónicas*, que são linhas de declinação constante (ver na Fig. 3.1 a aparência de uma linha isogónica). Podem ser considerados os “meridianos magnéticos”, embora nem sempre tenham forma regular. A linha isogónica de declinação zero chama-se *agónica*. A declinação num dado local que não se situa por acaso numa isogónica indicada é determinada por interpolação. Na Fig. 4.4 vemos a relação entre  $N_v$ ,  $N_m$  e declinação  $D$  e o tipo de setas utilizadas para  $N_v$  e  $N_m$ . Para converter direcções verdadeiras para magnéticas e vice-versa, é útil introduzir o seguinte procedimento:

- Define-se o sinal + para declinações E e - para W.
- Se passarmos de direcções verdadeiras para magnéticas (“falsas”), o sinal “mente”.
- Se passarmos de direcções falsas para verdadeiras, o sinal é correcto.

Exemplos:



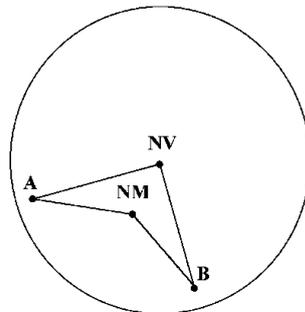
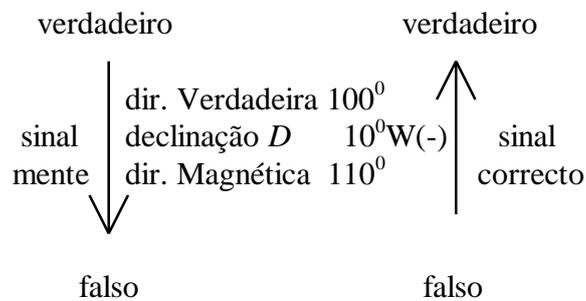


Fig. 4.3 - Declinação. A Terra é vista de cima. No ponto A a declinação é Este e em B é Oeste.

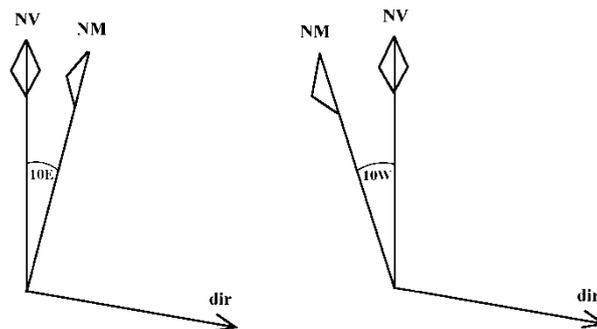


Fig. 4.4 - Direcção magnética e direcção verdadeira.

A mnemónica utilizada em inglês para se calcular a direcção *magnética a partir da verdadeira*, dada a declinação W ou E:

***West is best, East is least.***

O Norte Magnético muda no decurso do tempo a sua posição, um efeito chamado *variação*. Não se deve confundir com a palavra inglesa “variation” que significa declinação. A variação anual é também indicada na carta (“annual rate of change”). As isogónicas indicadas na carta são só válidas no ano indicado na carta! A declinação tem de ser calculada utilizando o valor da variação. Exemplo: Declinação em Coimbra em 1985  $6^{\circ}50'W$ . Variação anual  $11'$  diminuição (“decrease”). Em 1997 temos  $6^{\circ}50'W - 12 \times 11' = 4^{\circ}38'W \approx 5^{\circ}W$ , na precisão de um grau, suficiente para a navegação. Linhas de variação constante (normalmente não indicadas na carta) são chamadas *isopóricas*.

As figuras seguintes mostram isogônicas no ano 2015 e posições históricas do Norte Magnético.

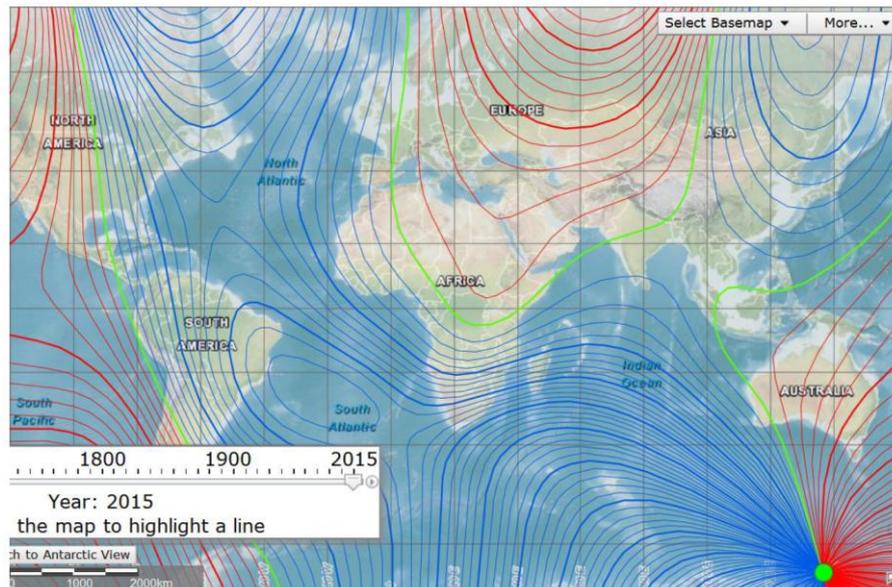


Fig. 4.5 – Isogônicas no ano 2015: W azul, E vermelho, agônica verde.

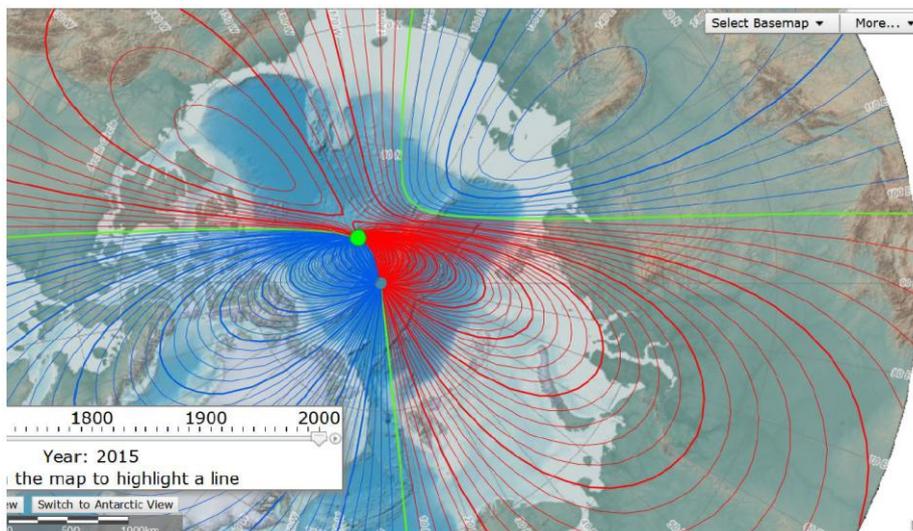


Fig. 4.6 – Isogônicas no ano 2015 na região polar N.

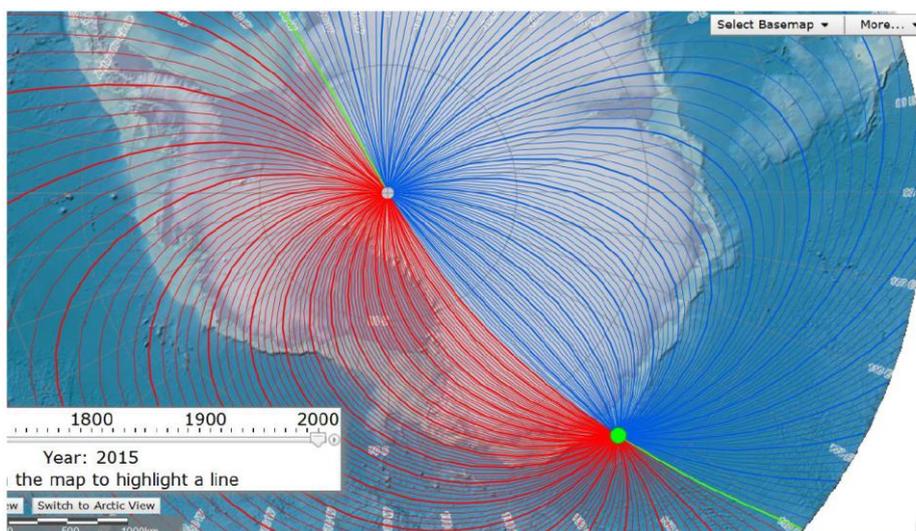


Fig. 4.7 – Isogônicas no ano 2015 na região polar S.

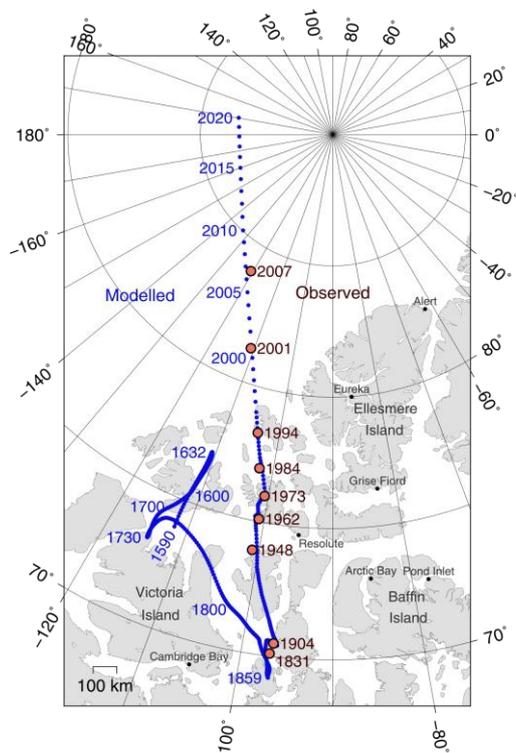


Fig. 4.8 – Posições históricas do Norte Magnético.

### 4.3 Inclinação

Como se pode verificar na Fig. 4.2, o campo magnético tem também uma componente vertical, chamada *inclinação* (*inclination, dip*), que aumenta com a aproximação aos polos magnéticos. A inclinação define a *latitude magnética*. A navegação por bússola magnética torna-se impraticável perto dos polos, porque acima dos  $60^0$  ou  $70^0$  N/S a componente vertical do campo magnético terrestre é muito forte mas a horizontal é fraca (Fig.4.8). Linhas de inclinação constante têm o nome *isoclínicas*; a linha de inclinação zero, o “equador magnético”, chama-se *aclínica*.

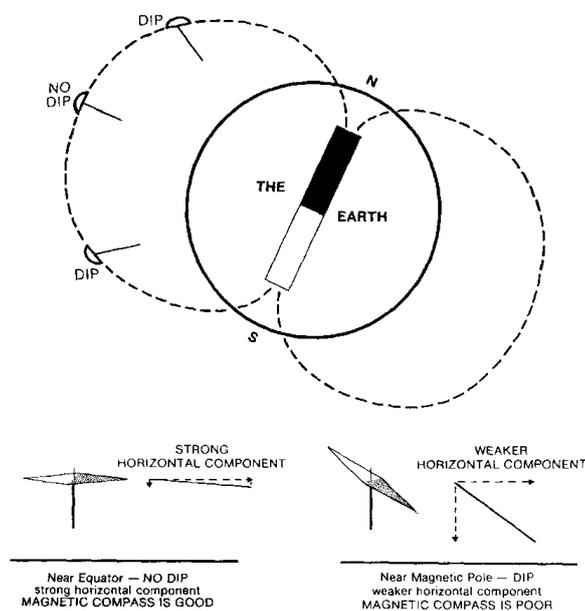


Fig. 4.9 - Inclinação.

## 5. Erros da bússola magnética

Quando uma bússola magnética é montada num avião, fica sujeita à influência dos campos magnéticos existentes no avião, devidos aos metais ferromagnéticos e aos circuitos eléctricos. Além disso existem erros dinâmicos produzidos pelo movimento do avião. Antes de estudar os erros resultantes destes factores é útil ver o funcionamento da bússola.

### 5.1 Construção da bússola magnética

Uma bússola magnética típica de uma aeronave contém duas agulhas magnetizadas, montadas em paralelo numa rosa de ventos, que flutua numa caixa cheia de líquido. A rosa é apoiada por meio de um pivot (Fig. 5.1) para permitir o livre alinhamento para o Norte Magnético. O líquido, querosene branco ou um líquido silicónico, serve principalmente para conseguir a *estabilidade* da bússola, isto é, para amortecer rapidamente oscilações da rosa de ventos. A caixa da bússola contém uma câmara de expansão que permite a dilatação e contracção do líquido resultante das mudanças de altitude e temperatura. Outra propriedade desejável de uma bússola é a *sensibilidade*, que se traduz na indicação rápida de qualquer mudança de rumo; a falta desta propriedade chama-se *preguiça* (*laziness, sluggishness*).

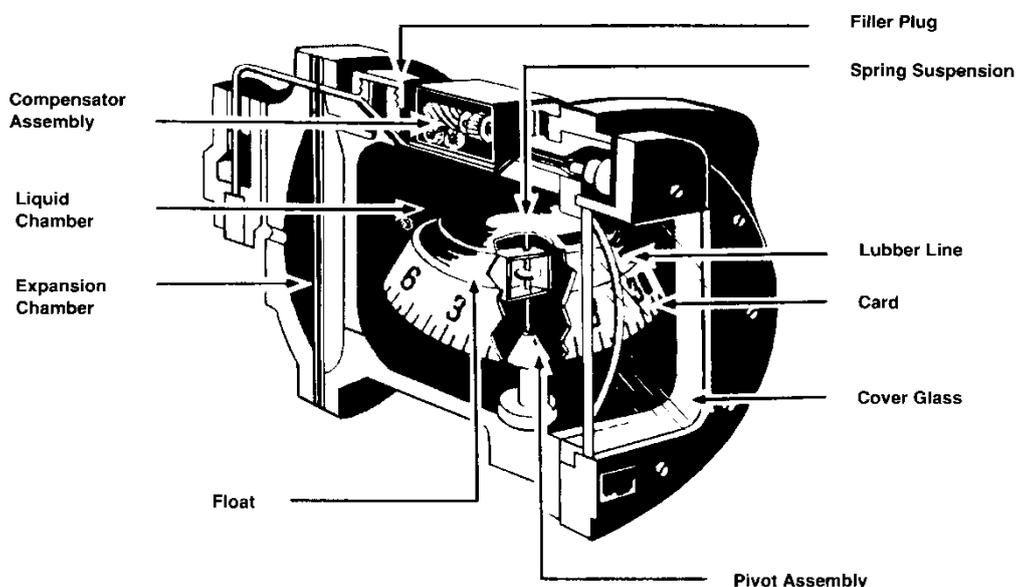


Fig. 5.1 - Bússola magnética.

### 5.2 Desvio

O *desvio*  $d$  é o valor angular entre o Norte Magnético e o *Norte da bússola* ( $= N_b =$  “Compass North” = CN), isto é o Norte indicado pela bússola magnética. O desvio pode ser para Leste ou Oeste de acordo com a posição do  $N_b$  em relação ao  $N_m$ . Os campos magnéticos que dão origem ao desvio vêm de *ferros duros*, *ferros moles* e do equipamento eléctrico e electrónico do avião. Um material ferromagnético tem em geral duas componentes do campo magnético, uma componente permanente e uma que varia no decurso do tempo, que é a componente induzida. Fala-se de ferros duros para descrever o material com magnetização predominantemente permanente e de ferros moles no caso da magnetização ser predominantemente induzida. O desvio pode ser minimizado ajustando os dois ímanes de compensação instalados na bússola, um trabalho feito por um técnico

qualificado. Para o efeito orienta-se, no chão e com o motor, rádios e outro equipamento eléctrico ligados, o eixo longitudinal do avião para o Norte Magnético e regista-se o desvio  $dN$ . Depois orienta-se o avião para o Sul e regista-se  $dS$ . O mesmo é feito nas posições Este e Oeste, registando  $dE$  e  $dW$ . Os ímanes de compensação têm de ser ajustados para que  $(dN-dS)/2$  e  $(dE-dW)/2$  sejam  $\leq 4^\circ$ , o que é chamado *erro semicircular*. Depois mede-se os desvios também nas orientações colaterais do avião e o *erro quadrantal*  $(dN+dNE+dE+dSE+dS+dSW+dW+dNW)/8$  tem de ser  $\leq 3^\circ$ , ou o procedimento (chamado “swinging”) tem de ser repetido. Os oito desvios são inscritos na *tabela de desvios* que é colocada na bússola (Fig. 5.2). Como os ferros moles mudam de magnetização no decurso do tempo, é necessário recalibrar a bússola em intervalos regulares.

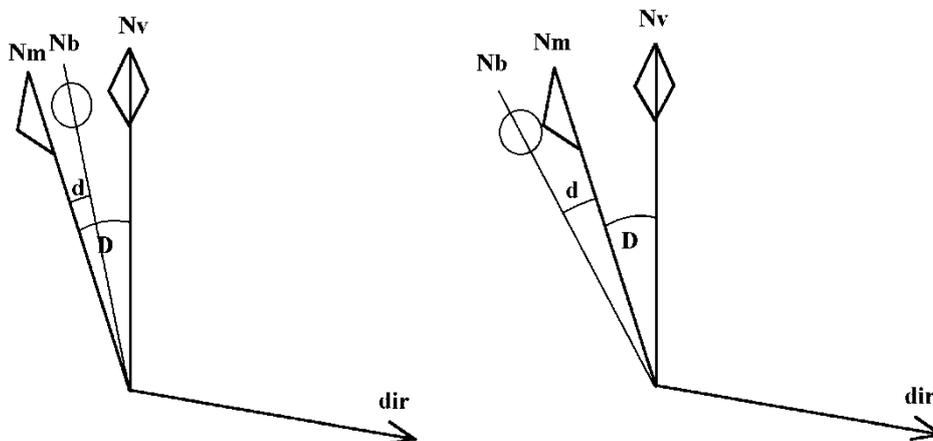
DEVIATION CARD					
FOR					
N	30	60	E	120	150
STEER					
001	031	060	089	118	149
FOR					
S	210	240	W	300	330
STEER					
181	213	242	271	301	330
ON <input checked="" type="checkbox"/> RADIOS <input type="checkbox"/> NO					

Fig. 5.2 - Exemplo de uma tabela de desvios.

Do exposto é óbvio que se deve evitar de colocar objectos ferromagnéticos, calculadoras electrónicas e outras fontes de magnetismo perto da bússola magnética, o que poderia introduzir desvios consideráveis e resultar numa situação potencialmente perigosa de perda de orientação do piloto.

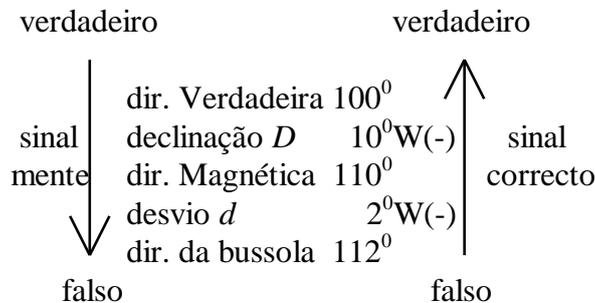
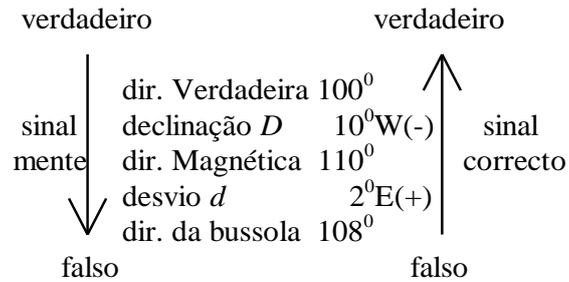
Na Fig. 5.3 vemos a relação entre  $N_m$ ,  $N_b$ , e desvio  $d$  e o tipo de seta utilizada para  $N_b$ . O cálculo para passar de direcções de bússola para direcções magnéticas e vice-versa segue o esquema das declinações:

- Define se o sinal + para desvios E e - para W.
- Se passarmos de direcções magnéticas para os da bússola (“ainda mais falsas”), o sinal “mente”.
- Se passarmos de direcções da bússola para magnéticas, o sinal é correcto.



•Fig. 5.3 - Desvio. No primeiro caso o desvio  $d$  é Este, no segundo Oeste.

Exemplos:



Esquema **CDMVTDT** para rumos e caminho/rota:

CH, DEV, MH, VAR, TH, DRIFT, TC

*compass heading* = rumo da bússola,

*deviation* = desvio,

*magnetic heading* = rumo magnético,

*variation* = declinação,

*true heading* = rumo verdadeiro,

*drift* = deriva (o oposto do *WCA wind correction angle* = abatimento),

*true course/track* = rota/caminho verdadeira/o.

Os conceitos de rumo, caminho, rota, deriva e abatimento serão discutidos mais tarde.

Nos exercícios aparecem às vezes sinais para DEV e DRIFT (ou WCA) em vez de L/R ou E/W.

Interpretação para DRIFT ou WCA: negativo = L, positivo = R.

Interpretação para DEV: pode significar *east is least, west is best*, sinal negativo = E, sinal positivo = W, **contrário ao nosso esquema**, mas isto **não é universal nem claro!**

Exemplo do esquema CDMVTDT com os “nossos” sinais:

CH	125	
DEV	2E(+)	
MH	127	
VAR	2W(-)	
TH	125	
DRIFT	12R(+)	(ou WCA=12L)
TC	137	

### 5.3 Erros dinâmicos

Os erros dinâmicos da bússola magnética têm origem na componente vertical do campo magnético terrestre. Esta componente inclina a rosa de ventos e o centro de gravidade nesta posição inclinada é, no Hemisfério Norte, a Sul do pivot (Fig. 5.4). O erro dinâmico mais pronunciado é o *erro de volta* nos rumos N e S (Fig. 5.5). Na volta, a força centrífuga desloca o centro de gravidade. No Hemisfério Norte, num rumo inicial para N, o efeito produz um erro da bússola contrário ao sentido da volta, a bússola indica volta contrária ou valores “insuficientes”. Num rumo inicial S, a bússola indica uma volta no sentido correcto, mas exagerada. O *erro de aceleração* é máximo nos rumos W e E. Quando o avião acelera num destes rumos, o centro de gravidade da rosa é deslocado e a bússola indica erradamente, no Hemisfério Norte uma volta para o Norte. Na desaceleração a bússola indica uma volta para Sul.

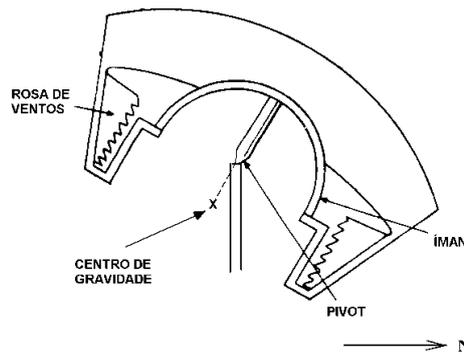


Fig. 5.4 - Inclinação da bússola magnética no Hemisfério Norte.

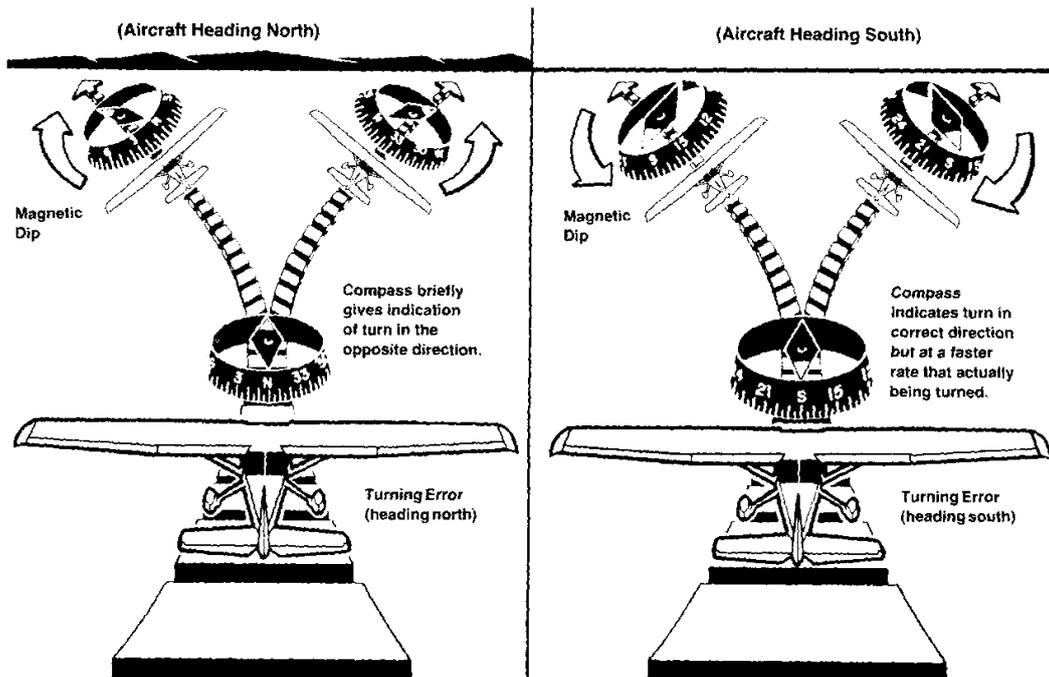


Fig. 5.5 - Erros de volta no Hemisfério Norte.

Próximo do equador magnético os erros dinâmicos desaparecem, porque o centro da gravidade da bússola já não é deslocado em relação ao pivot. No Hemisfério Sul os erros são de comportamento contrário. Resumimos os erros dinâmicos da bússola magnética, no Hemisfério Norte.

Os erros de volta são:

<i>rumo inicial</i>	<i>indicação na volta</i>	<i>correção necessária</i>
N	contrária ao sentido da volta	voltar menos que indicado
S	exagerada no sentido da volta	voltar mais que indicado
W	correcta	Nil
E	correcta	Nil

Os erros de aceleração são:

<i>rumo</i>	<i>velocidade</i>	<i>Indicação</i>
E ou W	a aumentar	volta para N
E ou W	a diminuir	volta para S
N ou S	a aumentar	Correcta
N ou S	a diminuir	Correcta

#### 5.4 O gyro direccional

Na navegação prática utiliza-se o *gyro direccional* (“direction indicator” DI ou “heading indicator” HI), porque não tem os erros dinâmicos da bússola magnética, tem uma indicação estável e tem uma escala mais facilmente utilizável. É um instrumento giroscópico (Fig. 5.6) que utiliza a propriedade do eixo de um giroscópio (uma massa em rotação rápida) de apontar para uma direcção fixa no espaço. O gyro tem de ser ajustado inicialmente antes do voo de acordo com a indicação da bússola magnética, rodando a escala com o botão de ajuste. Durante o voo, talvez cada 10 ou 20 min, dependente do modelo, tem de ser reajustado, porque devido ao atrito e outras forças existentes no instrumento o giroscópio tem a tendência de precessar. Além disso, a Terra roda num ângulo de  $15^{\circ}$  por hora (e a este movimento temos de somar a deslocação do próprio avião em relação à superfície curva da Terra); e devido à rigidez da direcção do eixo do giroscópio no espaço, todas as referências na Terra (incluindo o Norte magnético) rodam em relação ao gyro. A deslocação do avião em relação à superfície terrestre tem um efeito análogo. Estes efeitos são mais pronunciados na proximidade dos Polos (Fig. 5.7). Para ajustar o gyro de acordo com a bússola magnética o voo tem de ser nivelado em linha recta plana, asas direitas, sem acelerações, para minimizar os erros dinâmicos da bússola magnética neste momento.

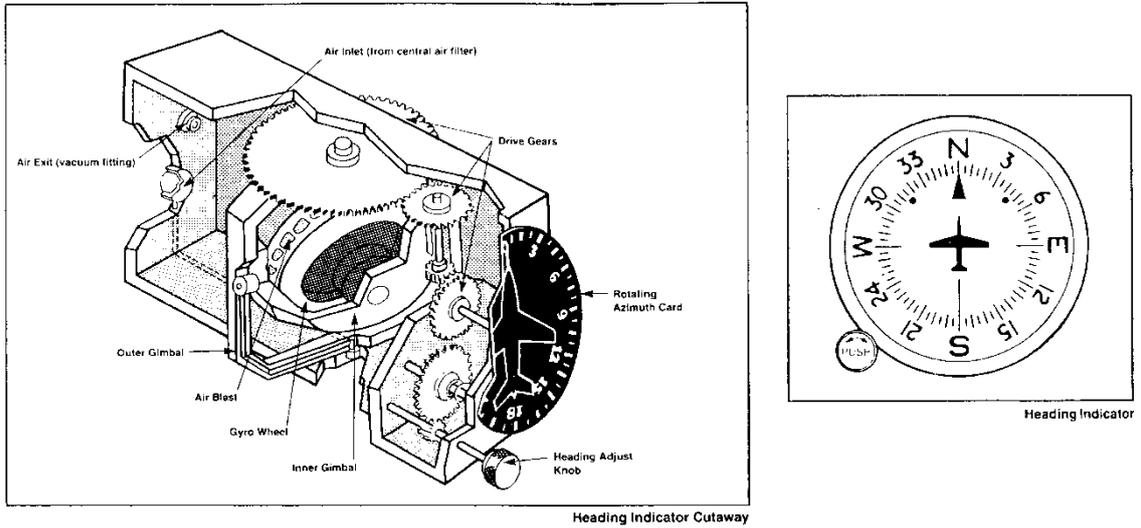


Fig. 5.6 - O gyro direccional.

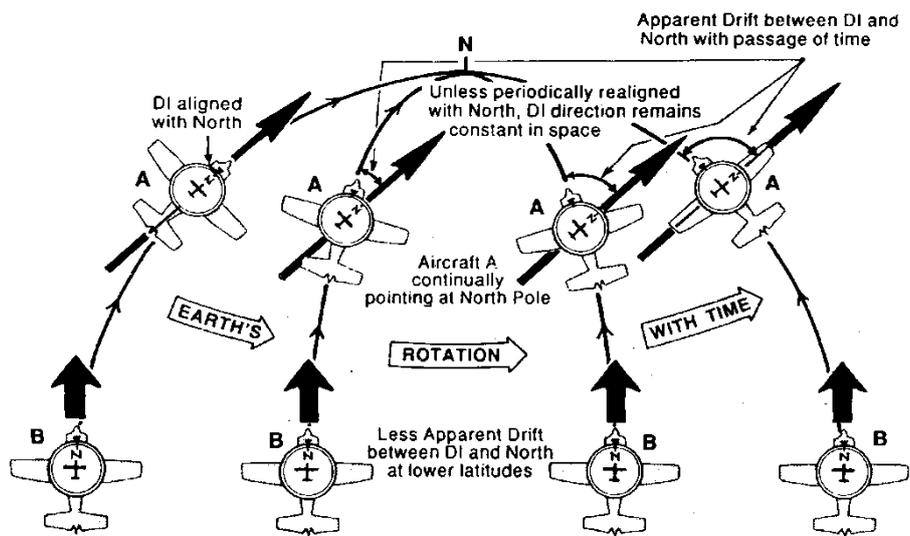


Fig. 5.7 - A rigidez do gyro no espaço e o erro resultante.

## 6. Cartas na navegação prática

Para a determinação de posições, distâncias e direcções utiliza-se a carta em conjunto com um compasso e um *plotter*. O *plotter* combina uma régua (*ruler*, com escalas de milhas náuticas) com um transferidor (*protractor*). Na Fig. 6.1 a régua é graduada em milhas náuticas para uso em cartas com as escalas 1/1 000 000 e 1/500 000.

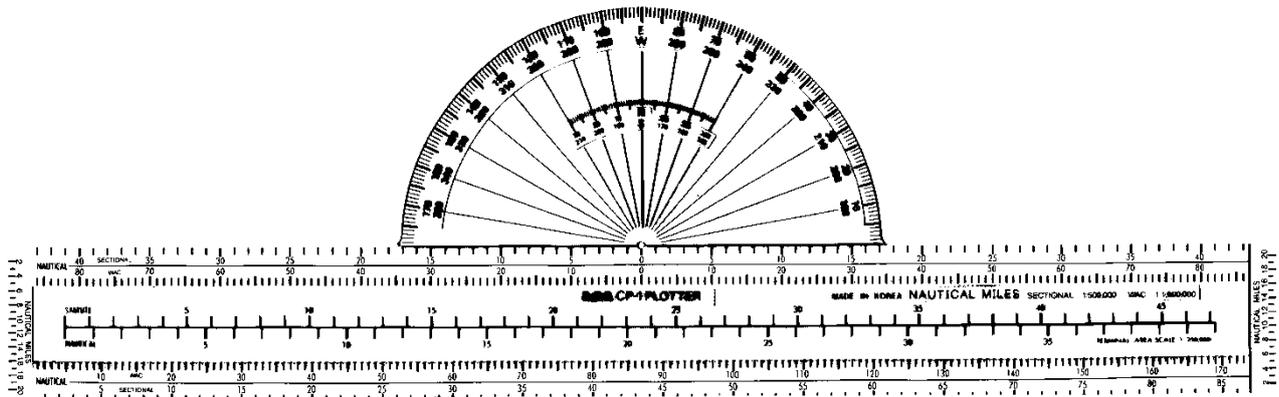


Fig. 6.1 - O plotter aeronáutico.

### 6.1 Marcação de posições (*plotting*)

Existem dois tipos de perguntas relacionadas com a posição de um lugar:

- 1- Dada a latitude e longitude de um lugar, onde se encontra este lugar na carta?
- 2- Dado um lugar na carta, qual é a latitude e longitude correspondente?

Podemos responder a estes dois tipos de perguntas utilizando as escalas de latitudes e longitudes da carta e a régua do *plotter*. Para responder à pergunta 1, traçamos uma linha que passa pelo valor dado da longitude nas escalas de longitude (que se encontram ao longo dos paralelos), e outra linha que passa pelo valor dado da latitude nas escalas de latitude (indicadas nos meridianos). O cruzamento destas linhas indica o lugar procurado (Fig. 6.2). A situação na pergunta 2 é simplesmente o inverso: traça-se duas linhas rectas pelo lugar em questão, uma paralela aos meridianos locais e outra aos paralelos, e lê-se a latitude e longitude nas respectivas escalas. Os métodos expostos são obviamente uma aproximação quando se trata de uma carta Conforme Lambert, dado que os meridianos são linhas convergentes e os paralelos de latitude arcos de círculos. No entanto, o erro fica muito pequeno porque a gráticula nas cartas utilizadas para a navegação é suficientemente densa, isto é, em pequenas áreas os meridianos e paralelos formam rectângulos quase perfeitos.

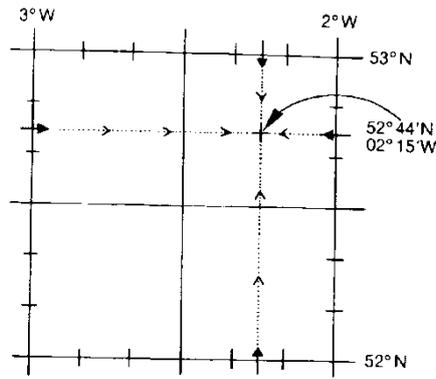


Fig. 6.2 - Latitude e longitude de um lugar.

## 6.2 Medida de direcções

A medida da direcção de qualquer linha de rota envolve quatro passos:

- 1- Desenhar a linha com a régua do plotter.
- 2- Determinar *por estimativa* a direcção da rota. Este passo serve para evitar *erros grosseiros* na medição (passo 3).
- 3- Utilizar o transferidor do plotter para medir o ângulo exacto. Para isto, alinha-se a parte superior da régua do plotter com a linha traçada. Dezliza-se o plotter ao longo da linha até que o orifício fique em cima de um *meridiano* (o deslizar correcto é facilitado quando se usa o compasso, colocando-o na rota). O valor angular da rota encontra-se na intersecção do meridiano com a escala *exterior* do transferidor. Se a direcção geral (passo 2!) fôr para o Este, utiliza-se a escala de valores angulares marcada com um *E* (ou uma seta que aponta para a direita →, em outros plotters), se fôr para Oeste, os valores correspondentes ao *W* (ou a seta para a esquerda ←). Quando a rota se aproxima do Norte ou Sul (dentro de  $30^0$ ), é mais facil utilizar a escala *interior* do transferidor. Neste caso, desliza-se o plotter até que o orifício fique em cima de um *paralelo* de latitude e lê-se o ângulo na escala interior. Se a direcção geral fôr para o Norte, usar a escala *N* ou ↑, se fôr Sul, a escala *S* ou ↓. Note que a direcção medida utilizando os meridianos ou paralelos é *verdadeira*.
- 4- Agora é necessário converter a direcção verdadeira para *magnética*, porque o avião utiliza a bússola para a navegação. Para o efeito, procura-se as linhas isogónicas mais próximas da rota e estima-se, por interpolação, a declinação média na rota, corrigida ainda pela variação anual (ver Secção 4.2). Utiliza-se o procedimento exposto na Secção 4.2 para passar da direcção verdadeira para a magnética.

## 6.3 Medida de distâncias

Existem várias maneiras de medir distâncias na carta. A mais correcta é de utilizar a escala de latitudes nos meridianos. A utilização da escala gráfica indicada na margem da carta ou da própria escala do plotter só dá valores de distâncias aproximados, porque a escala não é constante ao longo da carta. Para medições rápidas, no entanto, é muito fácil usar o plotter, quando se trata de uma carta 1/500 000 ou 1/1 000 000, escolhendo a gradação correcta da régua do plotter. No plotter da Fig. 6.1 a escala 1/500 000 tem a denominação SECTIONAL e a escala 1/1 000 000 WAC. Não se deve confundir as duas escalas! Além disso, existem plotters com escalas de milhas terrestres (o plotter da Fig. 6.1 é graduado em milhas terrestres no verso), o que poderia dar origem a erros tambem. É muito importante, por isso, verificar que se está a utilizar a gradação correcta (NAUTICAL MILES e *escala correcta*)!

A ferramenta do método mais preciso, da utilização das escalas de latitudes nos meridianos, é o compasso. A escala a utilizar é a escala na latitude média do caminho (ver Fig. 6.3). Para medir uma distância curta, abre-se o compasso para colocar as pontas nos pontos extremos da rota. Depois alinha-se o compasso ao longo do meridiano e conta-se os minutos de latitude entre as pontas. Como foi exposto anteriormente, cada minuto vale 1 milha náutica. Para medir distâncias grandes, inverte-se o método. Alinhar primeiro o compasso no meridiano, pondo as pontas numa distância que seja um bom multiplicador (5, 10 ou 20 NM por exemplo). Fazer a medição da rota utilizando este padrão. A distância final restante pode ser medida utilizando o processo anterior.

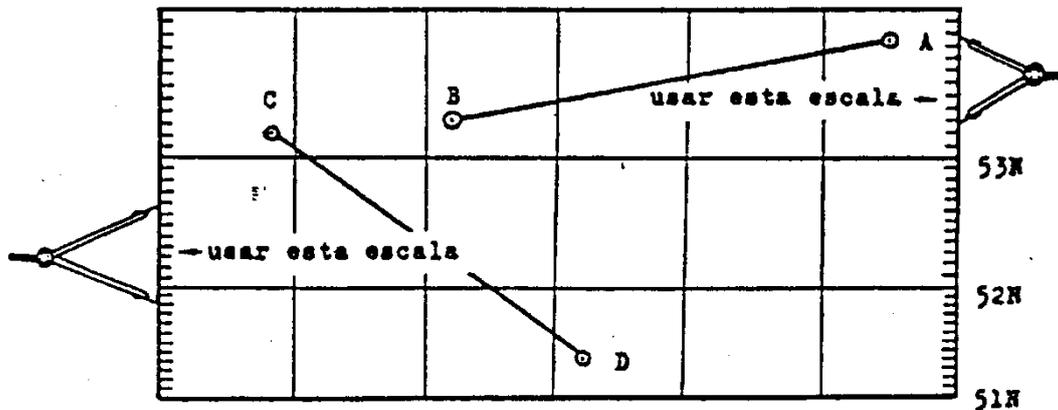


Fig. 6.3 - Utilização da escala de latitudes nos meridianos para medir distâncias.

## 7. Princípios da navegação aérea

O piloto quer seguir um caminho, isto é, uma rota determinada em relação ao terreno, a uma altitude e velocidade escolhidas. Ao contrário de um veículo terrestre, o comportamento do avião depende fortemente das massas do ar envolvente. Os ventos tendem a desviar o caminho e a velocidade da aeronave. Uns instrumentos básicos de navegação o velocímetro, o altímetro e o variómetro, utilizam o ar para medir velocidades e altitudes.

### 7.1 Navegação vertical

O *altímetro barométrico* utiliza o facto de que a pressão da atmosfera terrestre diminui com a altitude. Consiste de um conjunto de cápsulas aneróides sensíveis às variações de pressão atmosférica e de um mecanismo que transfere o movimento de expansão (na subida) ou compressão (na descida) das cápsulas a ponteiros (Fig. 7.1). É então um barómetro calibrado em pés (ou metros) para indicar altitudes em vez da pressão atmosférica. As cápsulas aneróides são parcialmente evacuadas e fechadas hermeticamente. O conjunto é posto em contacto com a pressão atmosférica envolvente através da *tomada estática* do avião, um orifício que se encontra num ponto da superfície do avião que tem poucas perturbações dinâmicas, isto é, onde a pressão é sempre aproximadamente a pressão atmosférica, independentemente do movimento do avião.

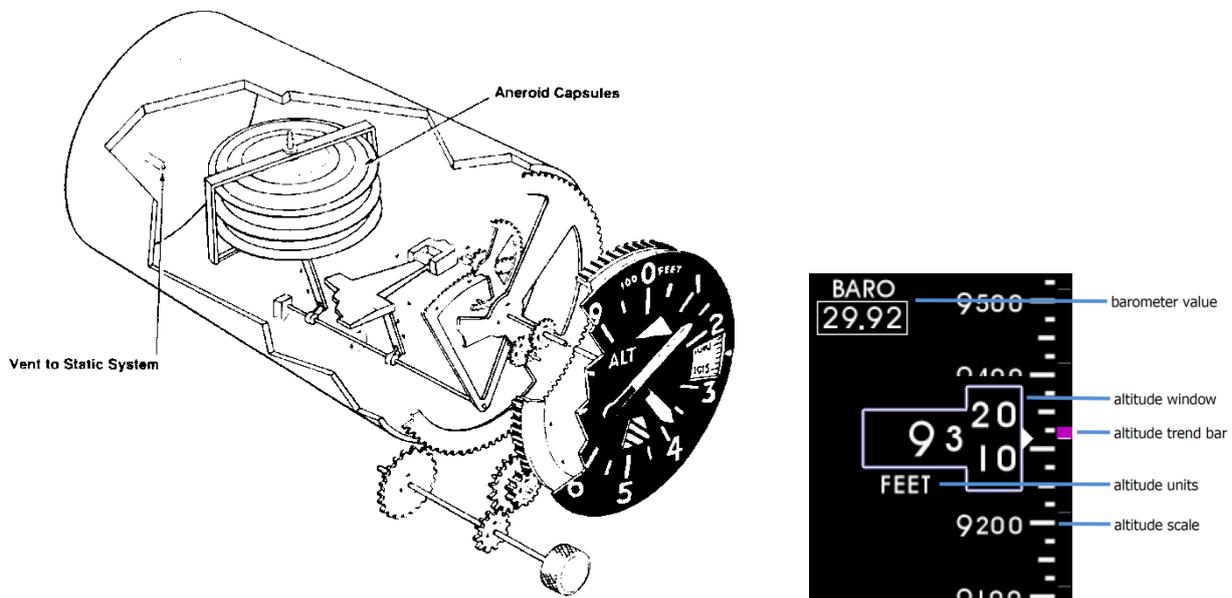


Fig. 7.1 – Altímetro mecânico (à esquerda) e escala num *glass cockpit* (à direita).

A calibração do altímetro é feita de acordo com a *atmosfera standard* (= ISA = “International Standard Atmosphere”). Esta definição considera o comportamento médio da atmosfera terrestre. O que nos interessa aqui é o comportamento da variação da pressão com a altitude:

- a 0 pés (nível médio do mar): 1013,2 hPa;
- entre 0 e 18 000 pés: diminuição de 1 hPa por 30 pés;
- a partir de 18 000 pés: diminuição de 1 hPa por 60 pés.

É óbvio que este comportamento corresponde raramente à realidade, a pressão atmosférica à superfície varia de acordo com as condições meteorológicas. Para poder ajustar o altímetro à

pressão actual local, o altímetro possui uma janela com uma sub-escala (*janela de Kollsman*), calibrada em unidades de pressão atmosférica. Esta escala é ajustada com um botão. A escala pode indicar hectopascals, milibars ou polegadas de mercúrio. Temos as relações

$$1 \text{ mb} = 1 \text{ hPa},$$

$$1''\text{Hg} = 33,86 \text{ hPa}.$$

Usa-se a seguinte terminologia, de acordo com o valor posto na janela:

ajuste da sub-escala	nome da indicação do altímetro	indicação da distância vertical
QNE = 1013,2 hPa	<i>nível de voo</i> ("Flight Level" = FL)	acima da isoipsa de 1013,2 hPa
QNH	<i>altitude</i>	acima do nível médio do mar
QFE	<i>Altura</i> (height) ou <i>altitude absoluta</i>	acima do terreno

O piloto pode obter os valores QNH e QFE dos serviços aeronáuticos competentes (por exemplo, da torre do aeródromo, antes da aterragem). O valor QNE é utilizado para voos altos, acima da *altitude de transição*. As várias possibilidades estão indicadas na Fig. 7.2 num caso particular.

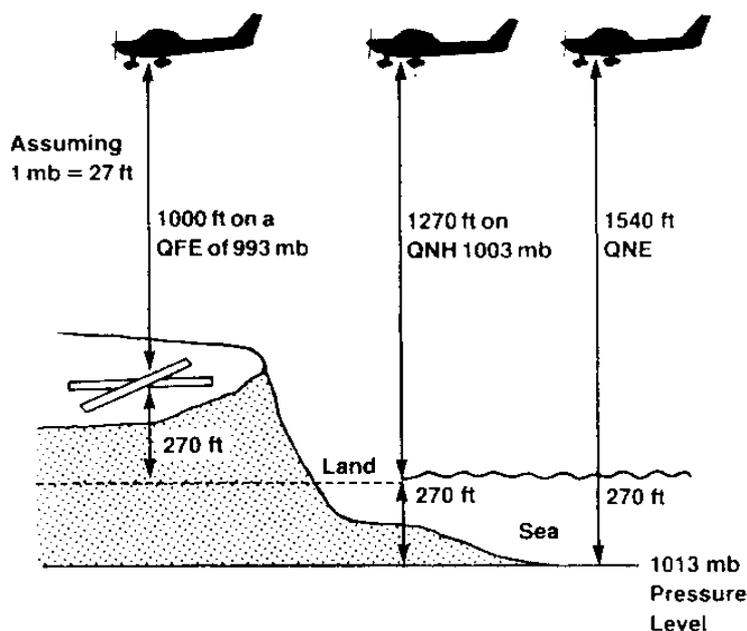


Fig. 7.2 - Altura, altitude e nível de voo.

O piloto que voa com a indicação do altímetro constante, segue de facto uma linha de pressão constante. Tendo a sub-escala ajustada para um valor fixo, o avião desce na realidade quando voa de uma região de alta pressão para uma região de baixa pressão (Fig. 7.3)!

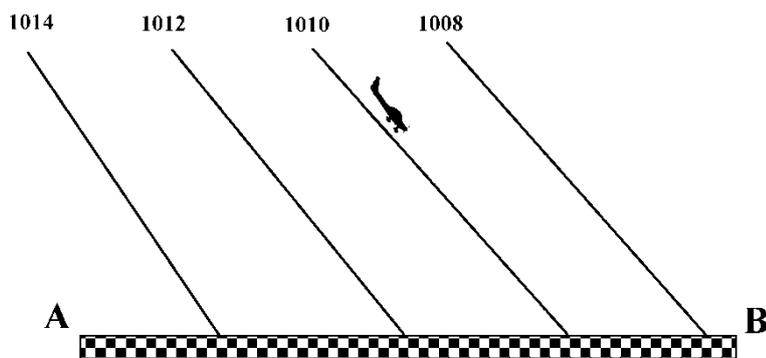


Fig. 7.3 - Voando de zona de pressão alta para baixa com indicação e ajuste do altímetro fixos.

O altímetro é calibrado de acordo com a ISA, que considera uma diminuição standard de temperatura com a altitude,

- a 0 pés (nível médio do mar):  $15^{\circ}\text{C}$ ;
- entre 0 e 36 000 pés: diminuição de  $1,98^{\circ}\text{C}$  por 1000 pés;
- a partir de 36 000 pés:  $-56,5^{\circ}\text{C}$  constantes com a altitude.

O desvio do gradiente vertical térmico da atmosfera real do standard tem também um efeito na altitude do voo: voando com um ajuste do altímetro fixo, o avião desce quando voa de uma região de altas temperaturas para baixas temperaturas (Fig. 7.4)! Temos então para os efeitos de pressão e de temperatura: *de altas para baixas o voo baixa*.

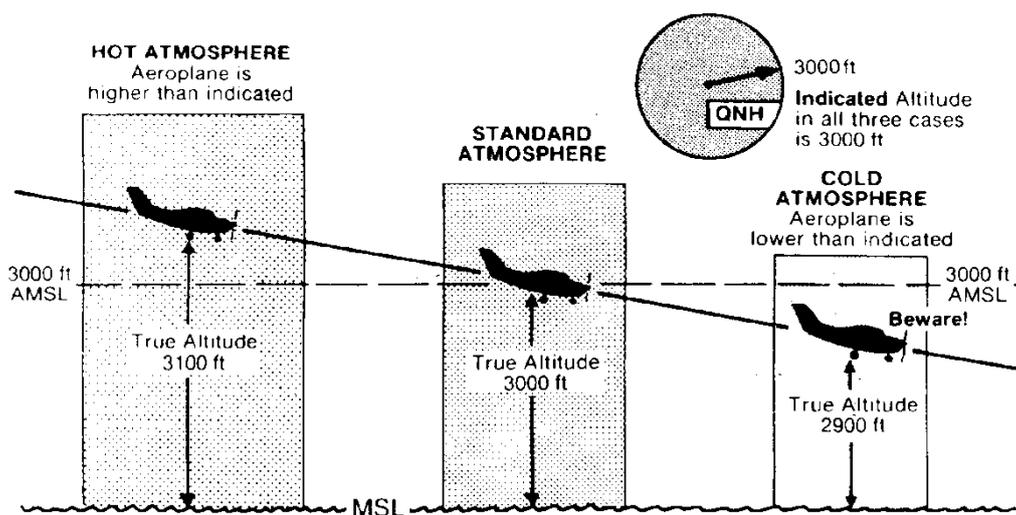


Fig. 7.4 - Voando de uma região quente para uma região fria com indicação e ajuste do altímetro fixos.

Mesmo com o ajuste apropriado da sub-escala o altímetro não indica valores certos. Existem erros instrumentais e correcções devidas ao comportamento não-standard da atmosfera. Fala-se das seguintes altitudes.

- *Altitude pressão*: lida no altímetro, quando regulado para 1013,2 hPa.
- *Altitude indicada*: lida no altímetro, quando regulado para QNH.
- *Altitude calibrada*: altitude indicada corrigida do erro instrumental.
- *Altitude verdadeira* (“true altitude”): altitude calibrada corrigida dos erros de temperatura e pressão, isto é, do desvio da atmosfera real das condições ISA.
- *Altitude densidade*: medida da densidade do ar à altitude actual que afecta a performance do avião.

O computador de navegação permite calcular a altitude verdadeira e a altitude densidade dada a temperatura e a altitude pressão.

#### *Fórmulas aproximadas*

DA (ft density altitude)

PA (ft pressure altitude)

CA (ft calibrated altitude)

FE (ft field elevation of QNH source)

OAT (°C outside air temperature)

ISA\_T (°C ISA temperature at given PA)

QNH (hPa Kollsman pressure)

$$PA = CA + (1013 - QNH) \times 30$$

$$TA = CA + (OAT - ISA_T) \times (CA - FE) / (273 + OAT)$$

$$\approx CA + (OAT - ISA_T) \times CA / 273$$

$$DA = PA + (OAT - ISA_T) \times 120$$

Outro instrumento da navegação vertical é o *variómetro* (“vertical speed indicator”) que indica a velocidade vertical da aeronave (Fig. 7.4). Este mede a diferença entre a pressão do ar momentânea e uma pressão retardada. O interior da cápsula barométrica é ligado à tomada estática, por isso a pressão no interior da cápsula é a pressão do ar no momento. A cápsula é montada dentro de uma caixa estanque que tem um pequeno orifício calibrado, ligado também à tomada estática. Quando o avião sobe ou desce, a pressão no interior da cápsula se ajusta imediatamente à alteração da pressão, mas o ajuste da pressão no exterior da cápsula é retardado pelo orifício pequeno. A diferença de pressões no interior e no exterior da cápsula é transmitida a um ponteiro cuja escala indica a velocidade vertical para cima ou para baixo, e é normalmente graduada em pés por minuto.

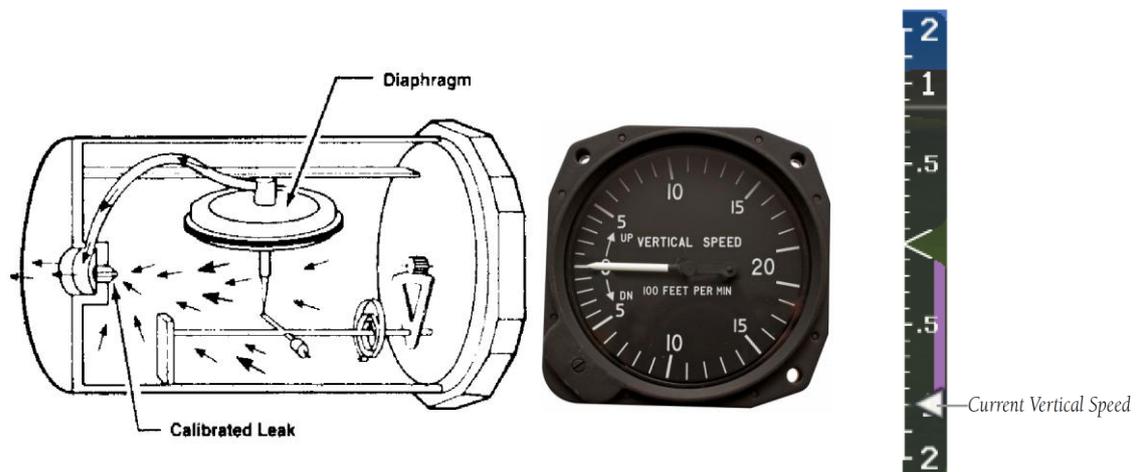


Fig. 7.5 – Variómetro (à esquerda) - as setas indicam o fluxo do ar numa subida. Escala dum variómetro mecânico (centro) e num *glass cockpit* (à direita).

## Planear subidas e descidas

Para saber a distância necessária para completar uma descida ou subida, calcula-se primeiro o tempo de acordo com

$$t[\text{min}] = \text{diferença de altitude [ft]} / \text{velocidade vertical [ft/min]} .$$

Dado o tempo e a velocidade terreno GS, podemos calcular a distância percorrida no terreno como

$$d[\text{NM}] = t[\text{min}] \times \text{GS}[\text{kt}]/60.$$

Exemplo: Descida com GS = 105kt e velocidade vertical 500' por minuto, dos 6000' ao circuito de aterragem de 1500', diferença 4500'.

$$t = 4500/500 \text{ min} = 9 \text{ min.}$$

$$d = 9 \times 105/60 \text{ NM} = 16 \text{ NM.}$$

Quando se pretende perder (aumentar) altitude dado uma distância desejada, qual é a velocidade vertical necessária? Das relações anteriores obtém-se

$$\text{velocidade vertical [ft/min]} = \text{diferença de altitude [ft]} \times \text{GS [kt]} / (60 \times d[\text{NM}]).$$

Exemplo: No caso anterior, suponhamos que já se encontre a 11 NM do aeródromo,

$$\text{velocidade vertical} = 4500 \times 105 / (60 \times 11) \text{ ft/min} = 716 \text{ ft/min} .$$

## 7.2 Velocidade ar

O *velocímetro* do avião (“air speed indicator”) é um instrumento que mede de facto a diferença entre a pressão estática da atmosfera (derivada da tomada estática) e a *pressão dinâmica* do chamado *tubo pitot* (Fig. 7.6). O interior da cápsula barométrica é ligado à tomada estática que mede a pressão estática  $P_0$ . A cápsula é montada dentro de uma caixa estanque que recebe a pressão do tubo pitot. O tubo pitot é montado com o orifício na direcção do movimento do avião, onde o ar exerce uma pressão dinâmica devido ao movimento. Pode sentir esta pressão por exemplo quando põe a mão fora da janela de um carro em andamento. As moléculas do ar que batem na mão, da frente, exercem uma pressão dinâmica para além da estática,

$$P_{\text{pitot}} = P_d + P_0,$$

que aumenta com a velocidade. A diferença de pressões no interior e no exterior da cápsula,

$$P_{\text{pitot}} - P_0 = P_d$$

é transmitida a um ponteiro cuja escala indica a *velocidade ar*. Da aerodinâmica sabemos que

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v^2 .$$

A pressão dinâmica depende da densidade do ar; por isso, vamos ter de corrigir a indicação do instrumento devido a alterações da densidade.

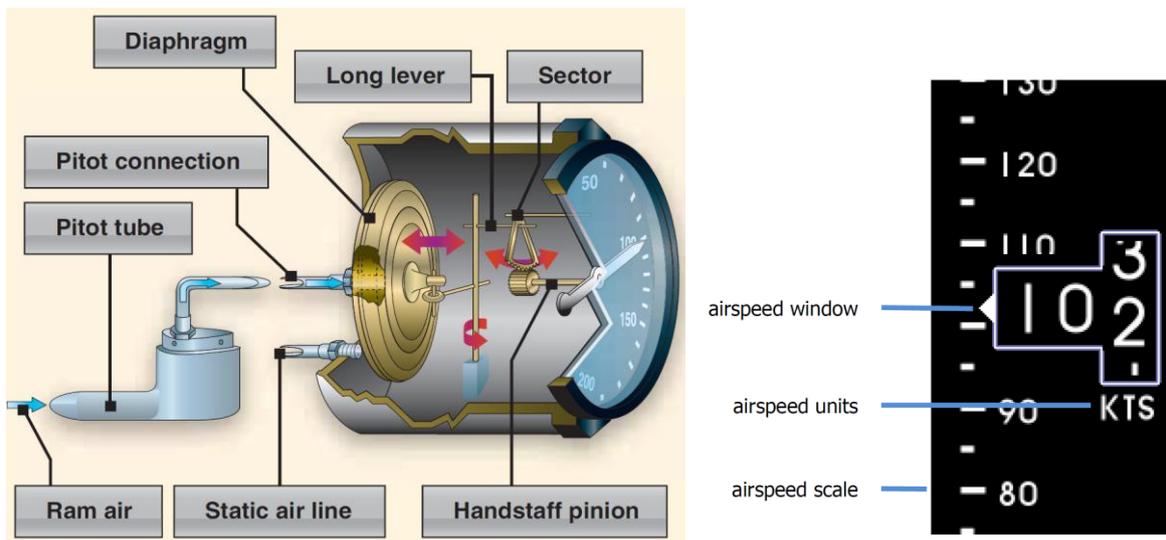


Fig. 7.6 – Velocímetro mecânico (à esquerda) e a escala num *glass cockpit* (à direita).

A escala do velocímetro é normalmente graduada em nós (= “knots” = KT). Um nó é uma milha náutica por hora. Existem no entanto velocímetros graduados em milhas terrestres por hora (= “miles per hour” = MPH) ou quilómetros por hora, sendo as relações entre estas unidades as mesmas que existem entre milhas náuticas, milhas terrestres e quilómetros,

$$1 \text{ MPH} = 1,609244 \text{ km/h,}$$

$$1 \text{ KT} = 1,852 \text{ km/h.}$$

O velocímetro indica a velocidade do avião em relação ao ar, e não, em geral, em relação ao terreno, porque as massas do ar se encontram normalmente em movimento. Além disso, existem erros na indicação da velocidade ar, e temos as seguintes definições:

- *velocidade ar indicada* VAI (“indicated air speed” IAS) - o que é lido no instrumento;
- *velocidade ar calibrada ou rectificada* VAC ou VAR (“calibrated air speed” CAS, “rectified air speed” RAS,) - a VAI corrigida do erro instrumental e do erro da posição do sistema estático/pitot;
- *velocidade ar equivalente* VAE (“equivalent air speed” EAS) - VAC corrigida do efeito de compressibilidade, correcção só necessária para velocidades acima dos 300 KT;
- *velocidade ar verdadeira* VAV (“true air speed” TAS) - VAE com correcção de temperatura e altitude, isto é, densidade do ar;
- *número de mach* (“mach number”) - relação entre a VAV e a velocidade do som nas condições ambiente presente, utilizada nos aviões de alta velocidade;
- *velocidade terreno* VT (“ground speed” GS) - VAV com correcção do vento.

Notas: Na literatura inglesa é utilizada a designação RAS e na literatura americana CAS; os computadores de navegação podem levar uma ou outra indicação. O manual do avião contém uma tabela de calibração que relaciona a VAI e a VAC (ver exemplo na Fig. 7.7). Alguns computadores de navegação permitem calcular a VAE a partir da VAC, utilizando a tabela dos *factores F*. Os computadores também convertem entre números de mach e VAV.

Airspeed Calibration												
Condition: Power required for level flight or maximum rated RPM dive.												
Flaps up												
KIAS	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
KCAS	46	53	60	69	78	88	97	107	117	127	136	
Flaps 10°												
KIAS	40	50	60	70	80	85	--	--	--	--	--	
KCAS	44	52	61	70	80	84	--	--	--	--	--	
Flaps 30°												
KIAS	40	50	60	70	80	85	--	--	--	--	--	
KCAS	43	51	61	71	82	87	--	--	--	--	--	

Fig. 7.7 - Exemplo de uma tabela de calibração. KIAS significa “knots IAS” e KCAS “knots CAS”.

A VAC (ou VAE) não é ainda a velocidade ar verdadeira, porque o velocímetro é calibrado para as condições da ISA ao nível do mar, isto é, para 15<sup>0</sup>C e 1013,2 hPa. Como já foi dito antes, a pressão dinâmica do tubo pitot depende da densidade do ar e temos de aplicar uma correção. O computador de navegação permite converter VAC para VAV, dado a altitude pressão e a temperatura (que determinam a densidade do ar).

*Fórmula aproximada para velocidades subsónicas* (<https://www.edwilliams.org/avform147.htm>):

TAS, CAS (true air speed, calibrated air speed in KT), DA (density altitude in ft)

$$TAS = CAS / (1 - 6.88 \times 10^{-6} - 6 \times DA)^{2.13}$$

### 7.3 O triângulo de velocidades

O navegador tem interesse no movimento do avião em relação ao terreno. Dado o movimento do ar, a VAV não coincide em geral com a VT, nem o rumo com o caminho. Temos as seguintes definições:

- **Rumo** - a direcção (verdadeira =  $R_v$  = “true heading” = TH, ou magnética =  $R_m$  = “magnetic heading” = MH) para qual aponta o eixo longitudinal (o nariz) do avião. O rumo em conjunto com a VAV define o vector velocidade-rumo que é representado por uma seta.
- **Caminho** - a direcção (verdadeira =  $C_v$  = “(true) track” = TR, ou magnética =  $C_m$ ) da projecção do movimento *real* do avião no terreno. O caminho em conjunto com a VT define o vector velocidade-caminho que é representado por duas setas.
- **Rota** - a direcção (verdadeira = “true course” = TC, ou magnética) do caminho *planeado*. O vector correspondente é representado da mesma maneira que o vector velocidade-caminho.
- **Vector do vento** ( $V/V$  = “wind vector” = W/V) - a direcção *da qual* o vento sopra e a sua intensidade. É então um vector que expressa a direcção e a velocidade do vento, por exemplo 270<sup>0</sup>/20KT, e é indicado com três setas.
- **Deriva** (“drift angle”) - o ângulo entre o rumo e o caminho, medido a partir do rumo, que indica o número de graus para a direita ou esquerda que um avião é desviado do seu rumo pelo vento.

- **Abatimento** ou *correção à deriva* (“wind correction angle” WCA ou “crab angle”) - o ângulo entre a rota e o rumo, medido a partir da rota. O rumo do avião é calculado de maneira a corrigir a influência do vento para que o caminho coincida com a rota.
- **Erro de rota** (“track error” TE) - o ângulo entre o caminho e a rota, que resulta de uma correção ao abatimento inferior ou superior à necessária, devido ao vento real que não corresponde às previsões, a erros da bússola e a erros de cálculo durante o planeamento.
- **Azimute** ou *marcação* (“bearing”) – o ângulo (relativo, verdadeiro ou magnético) da linha que liga a posição atual do avião com um ponto de referência.

Os vectores velocidade-rumo, velocidade-caminho (ou velocidade-rota) e velocidade do vento formam o *triângulo de velocidades* (Fig. 7.8). Sendo habitual a indicação da velocidade do vento em termos verdadeiros (só nas descolagens e aterragens se utiliza indicações magnéticas), temos de converter caminhos/rotas e rumos para verdadeiros. Nunca misturar quantidades verdadeiras e magnéticas!

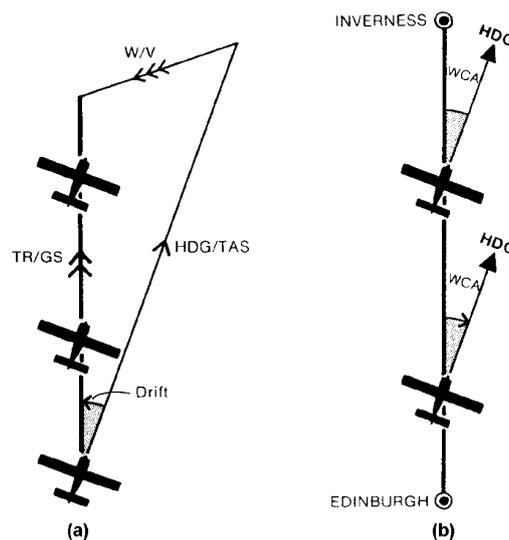


Fig. 7.8 - Triângulo de velocidades. (a) Rumo/VAV (uma seta), caminho/VT (duas setas), V/V (três setas) e deriva (Drift). (b) Rumo (HDG), rota (entre Edinburgh e Inverness) e abatimento (WCA).

O cálculo do triângulo de velocidades é um cálculo vectorial. Assim podemos obter um terceiro vector dados dois outros. Um vector é definido pelo seu comprimento e a sua direcção. O triângulo de velocidades envolve assim seis quantidades (3 direcções e 3 comprimentos). Com os comprimentos dos vectores proporcionais às respectivas velocidades e as direcções dadas, constrói-se o terceiro de acordo com a Fig. 7.8 (a). De uma maneira geral, é possível encontrar duas quantidades dadas as outras quatro. O problema mais frequente na prática é de encontrar o abatimento e a VT, dados a rota, a VAV, e o V/V das previsões meteorológicas. Este cálculo pode ser efectuado em papel milimétrico com uma régua e um transferidor, ou, mais facilmente, com o computador de navegação.

O conhecimento da VT é importante para determinar o tempo de voo, que tem importância para o planeamento do voo e em termos de consumo de combustível. Dada a distância da rota e a VT, temos  $\text{tempo} = \text{distância} / \text{VT}$ . Existem as seguintes siglas que aparecem frequentemente e são utilizadas nas comunicações com as autoridades de controle de tráfego aéreo:

- **ETD** - “estimated time of departure”, hora UTC de partida estimada;
- **ATD** - “actual time of departure”, hora UTC de partida real;
- **EET (ETE)** - “estimated enroute time”, tempo em rota estimado;

- AET - “actual enroute time”, tempo em rota actual;
- ETA - “estimated time of arrival”, hora UTC de chegada estimada;
- Endurance - autonomia, tempo máximo de voo dado pela quantidade de combustível a bordo;
- UTC, GMT ou Z - “coordinated universal time = Greenwich mean time”, tempo universal, isto é, hora standard de Greenwich.

O ETA pode indicar o tempo de chegada ao aeródromo de destino ou também a pontos de referência da rota (“waypoints”), utilizados para o controle do progresso do voo. Neste último caso aplica-se também as siglas ETO e ATO (“estimated time over”, “actual time over”). Para planear um voo do aeródromo A para B temos, por exemplo,

$$EET (A \rightarrow B) = \text{distância} / VT$$

$$ETA (B) = ETD (A) + EET (A \rightarrow B)$$

$$\text{quantidade\_combustível} = EET \times \text{gasto\_horário}$$

(sem considerar aqui as reservas de segurança).

#### 7.4 Navegação estimada, fixos e controle

A navegação estimada (“dead reckoning”) e controle da rota envolve os seguintes passos:

- Partir de uma posição conhecida, chamada *fixo*.
- Medir a direcção da rota e a distância numa carta de navegação até ao próximo ponto escolhido da rota.
- Utilizar a melhor estimativa do vento para determinar o rumo, a VT e o ETA.
- Durante o voo, obtem-se mais fixos observando pontos de referência no terreno, ou utilizando rádio-ajudas, e a carta, e avaliando assim o progresso do voo.
- Aplicar uma correcção a partir dos fixos observados.

Na Fig. 7.9 vemos o triângulo de velocidades da navegação estimada. Os símbolos utilizados são um círculo com um ponto no centro para um fixo, uma cruz para a *posição ar*, isto é, para a posição da aeronave em relação à massa do ar (o que seria a posição no terreno na ausência do vento), e um triângulo com um ponto no centro para a posição terreno estimada.

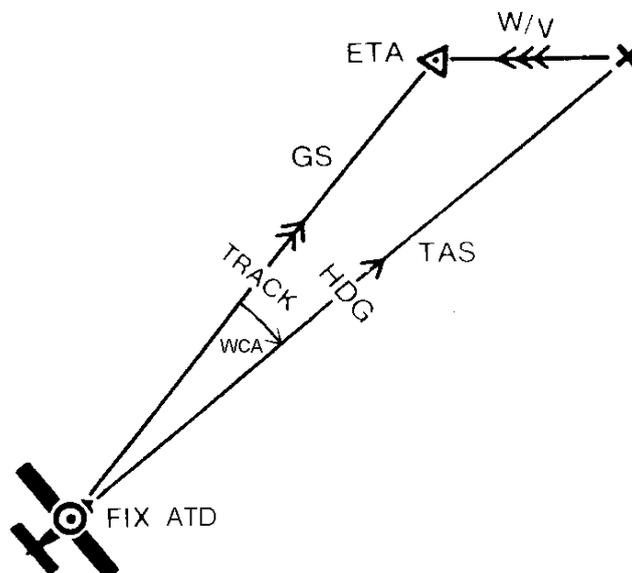


Fig. 7.9 - Navegação estimada.

Às vezes, não se conhece a posição de um fixo mas uma *linha de posição* só, obtida, por exemplo, pelo levantamento da direcção de uma rádio-ajuda. O símbolo utilizado é uma dupla seta  $\leftrightarrow$ . O cruzamento de duas linhas de posição é também um fixo (põe-se neste caso um círculo à volta do ponto de cruzamento para simbolizar o fixo).

### 7.5 Estimativa de distâncias

Depois de ter identificado positivamente um ponto de referência visual no terreno, pode estimar a distância horizontal a que se encontra dele. O julgamento da distância é adquirido principalmente através da experiência, mas existe uma técnica que pode usar. Se uma referência está  $45^\circ$  abaixo do horizonte, a distância horizontal do avião à referência é igual à altura. Para outros ângulos temos aproximadamente os valores indicados na tabela e na Fig. 7.10 (os valores exactos são obtidos da relação  $\text{distância} = \text{altura} / \tan(\text{ângulo})$ ).

Ângulo abaixo do horizonte	distância horizontal
$30^\circ$	5/3 da altura
$45^\circ$	igual à altura
$60^\circ$	2/3 da altura

Não se deve esquecer de converter ainda entre as unidades indicadas no altímetro (pés, normalmente) e a unidade de medição de distâncias (NM, normalmente). Temos

1 NM  $\cong$  6000ft.

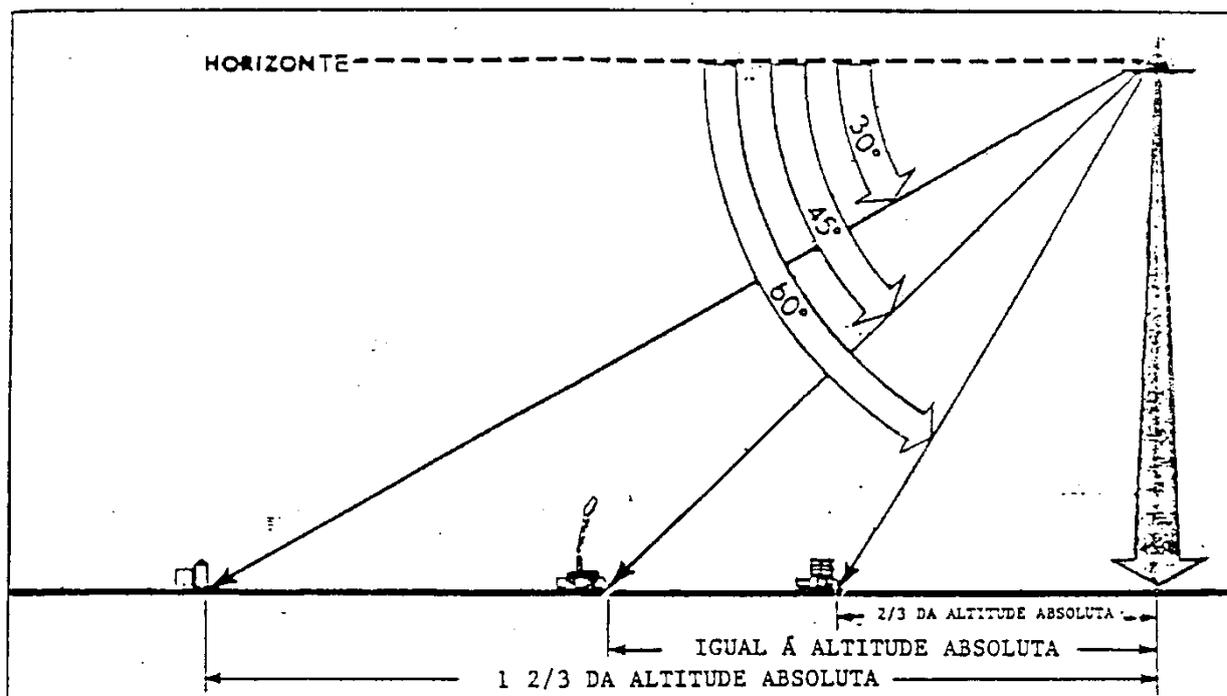


Fig. 7.10 - Estimativa de distâncias pelos ângulos abaixo do horizonte.

## 7.6 Alteração tardia de rumo

Infelizmente, vamos ter de aplicar correcções durante a viagem, porque o vento vai raramente corresponder exactamente às previsões, e porque podem existir erros da bússola e erros de cálculo durante o planeamento. O valor angular entre o caminho real e a rota planeada chama-se *erro de rota* (“track error” TE), ver Fig. 7.11. Também o ETA tem de ser revisto durante o voo, porque a VT sofre alterações devido ao vento real e porque o caminho que não corresponde à rota (Fig. 7.12).

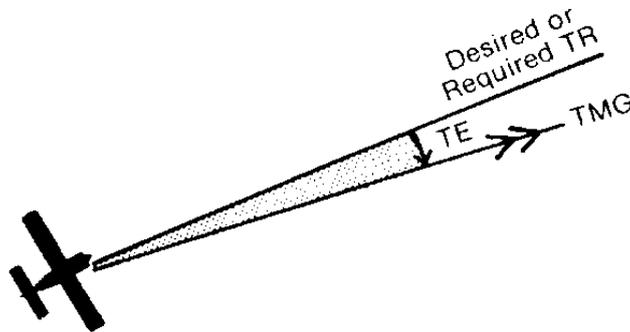


Fig. 7.11 - Erro de rota.

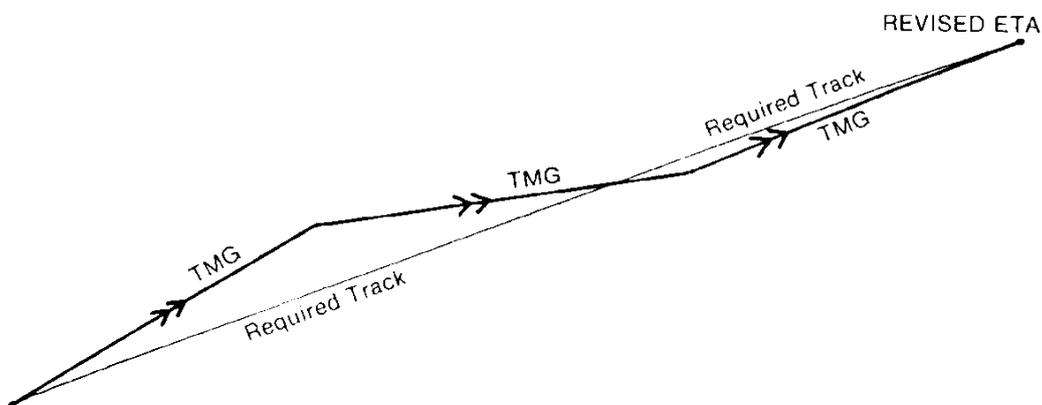


Fig. 7.12 - Correcções à rota.

Como é que se calcula os ângulos de correcção num avião que não é equipado com um derivómetro (instrumento que permite medir a deriva devida ao vento real existente)? Primeiro temos de estimar o erro de rota a partir da distância que o caminho desviou da rota. Temos a regra “um em sessenta”, válida aproximadamente para ângulos pequenos (Fig. 7.13):

*Depois de percorrer uma distância de 60 NM, o afastamento da rota (crosstrack error XTE) de 1 NM corresponde a um ângulo de 1°.*

[A razão matemática é a seguinte. Para ângulos  $\alpha$  pequenos, medidos em radianos, temos  $\sin \alpha \cong \tan \alpha \cong \alpha$ . Temos então  $\alpha \cong \text{XTE}/\text{distância}$ . Convertendo o ângulo  $\alpha$  em radianos para erro de rota TE em graus temos a relação  $\text{TE} = 180 \alpha / \pi \cong 60 \alpha$ . Daqui obtemos  $\text{TE} \cong 60 \text{ XTE}/\text{distância}$  e segue-se a regra.] A regra 1 em 60 é facilmente avaliada no computador de navegação.

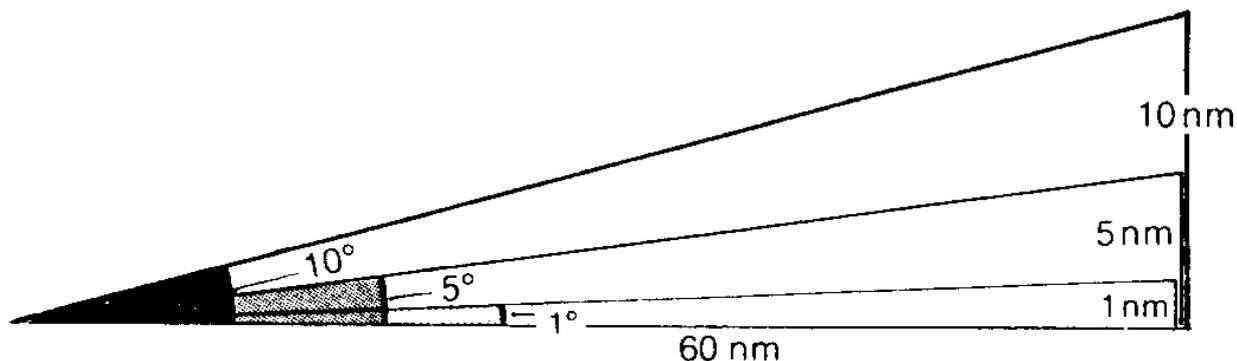


Fig. 7.13 - A regra “um em sessenta”.

Por considerações de proporcionalidade obtém-se o erro de rota para distâncias percorridas diferentes de 60 NM (Fig. 7.14).

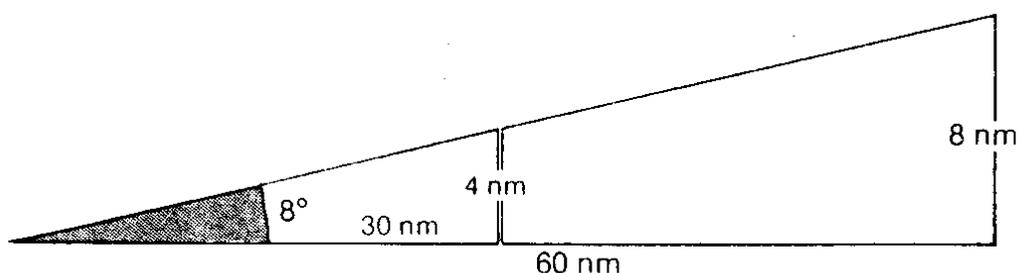


Fig. 7.14 - Cálculo do erro de rota.

Com o conhecimento do erro de rota podemos aplicar uma correção para voltar à rota. Distinguímos dois casos. Se a distância percorrida corresponde a menos da metade da distância total, podemos aplicar uma correção que corresponde ao *dobro do erro de rota no sentido oposto* (método do triângulo isósceles). Assim interceptamos a rota depois de percorrida mais uma vez a mesma distância (Fig. 7.15). Um exemplo: Se o erro de rota é  $10^0$  para a esquerda e o rumo é 080, temos de corrigir  $20^0$  para a direita, isto é, rumo  $080+20=100$ . Se fossemos escolher uma correção do valor igual (oposto) ao erro de rota, permaneceríamos num caminho paralelo à rota! Note que

*voltas para a direita aumentam o valor do rumo (sinal +) e voltas para a esquerda diminuem o valor do rumo (sinal -)*

[excepto quando se passa o rumo  $000=360$ ]. Na Fig. 7.15 vemos que o ângulo entre o caminho e a rota no ponto de chegada à rota (“closing angle” CA) corresponde ao erro de rota, por isso temos de voltar agora num ângulo *igual ao erro da rota no mesmo sentido* para seguir ao longo da rota. No exemplo, o CA seria  $10^0$ , o que significa uma volta para a esquerda de  $10^0$ , rumo  $100-10=090$ , para seguir na rota.

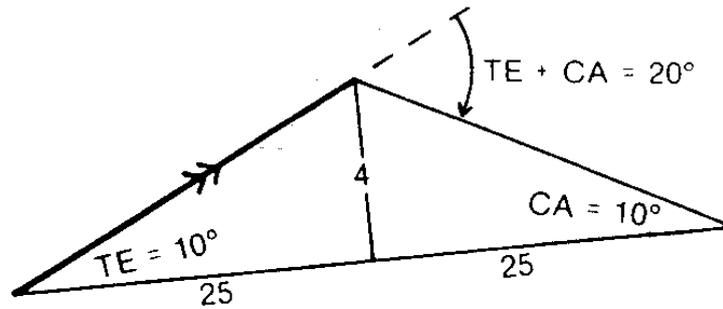


Fig. 7.15 - Correção pelo método do triângulo isósceles.

Se a distância já percorrida fôr superior à metade da distância total, temos de aplicar outro método (que podemos também utilizar no caso anterior). A Fig. 7.16 exemplifica como se procede neste caso. Primeiro determinamos o erro de rota como antes, utilizando a distância já percorrida. Por considerações de proporcionalidade (ou directamente pela regra 1 em 60) para a distância ainda a percorrer determinamos o CA. A correção ao rumo é  $TE+CA$  para o lado oposto ao  $TE$ . Ao interceptar a rota, altera-se o rumo pelo ângulo  $CA$  no mesmo sentido que  $TE$ . Por exemplo, se depois de percorrido 20 NM o afastamento da rota fôr 2 NM para a esquerda, a regra 1 em 60 dá um erro de rota de  $6^0$ . Supondo que faltam 10 NM a percorrer para um ponto de referência, temos da regra 1 em 60 que o CA é  $12^0$ . A correção a aplicar é à direita,  $(6^0+12^0)$ . O rumo inicial de por exemplo 090 é alterado para 108. Ao interceptar a rota voltamos pelo ângulo  $12^0$ , rumo 096.

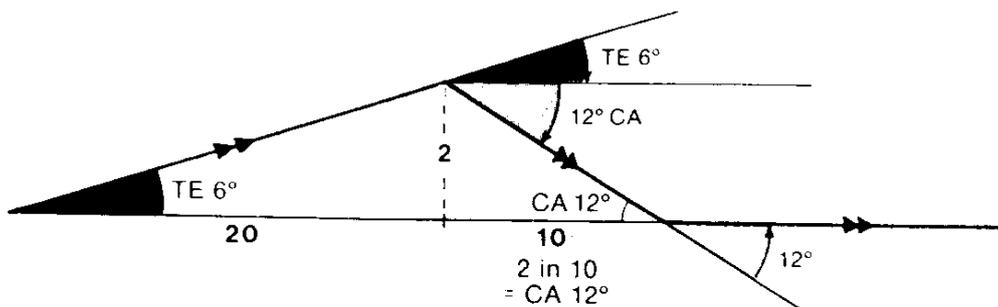


Fig. 7.16 - Correção tardia de rumo.

### 7.7 Controlo do tempo

Os erros de rota implicam em geral também alterações do tempo de voo e o ETA tem de ser corrigido. Os pontos de referência escolhidos no planeamento de voo servem para determinar o tempo perdido ou ganho durante a distância já percorrida. O cálculo é simples. Aplica-se a regra de proporcionalidade:

$$\text{correção ao ETA} = \Delta T X / \Delta X$$

onde  $\Delta T$  é a alteração do tempo previsto para a distância já percorrida  $\Delta X$ , e  $X$  é a distância total. Se numa distância percorrida de 8 NM a viagem demorou mais 1 min de que previsto, e se o ETA foi calculado para uma distância total de 24 NM, temos de somar mais 3 min ao ETA.

Em alternativa, para manter o ETA tem de se ajustar a velocidade. Uma maneira prática é o *método dos 10%*: cada 10% de aumento/diminuição da velocidade durante 10 min diminui/aumenta o tempo de voo por 1 min. Por exemplo, para recuperar 2 min de atraso, aumente a velocidade por 10% durante 20 min ou por 20% durante 10 min.

## 7.8 Contornar obstáculos

Condições imprevistas, em particular de ordem meteorológica, podem forçar o piloto a alterar temporariamente a rota. Supomos que uma nuvem cumulonimbus se interpõe no caminho e que não é possível nem passar por baixo nem por cima. O procedimento standard é o método do triângulo equilátero (Fig. 7.17(a)). Alteramos o rumo de  $60^\circ$  para a direita ou para a esquerda e seguimos durante um tempo suficiente,  $\Delta T$ . Depois voltamos no sentido contrário de  $120^\circ$  e seguimos durante o mesmo tempo  $\Delta T$ . Negligenciando os efeitos do vento, atingimos a rota prévia passado exactamente este tempo, e voltamos de novo à direcção da rota (volta de  $60^\circ$  no sentido inicial). Tratando-se de um triângulo equilátero, a correcção ao ETA será  $+\Delta T$ . Por exemplo, no rumo inicial de  $070$ , voltamos para  $010$  durante digamos 3 min. Depois voltamos para  $130$  durante outros 3 min. Findo este tempo voltamos para o rumo inicial  $070$ . A correcção ao ETA é  $ETA+3$  min.

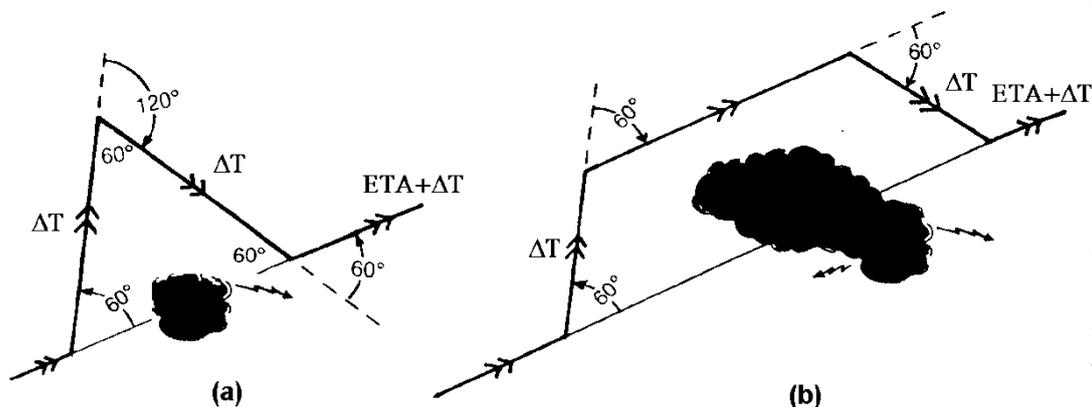


Fig. 7.17 - Contorno de obstáculos.

Se o obstáculo for maior, podemos seguir o caminho indicado na Fig. 7.17(b). Neste caso alteramos o rumo de  $60^\circ$  e seguimos durante um tempo  $\Delta T$ , como antes. Depois voltamos  $60^\circ$  no sentido oposto para seguir um caminho paralelo à rota inicial, durante o tempo necessário para passar o obstáculo. A duração deste tempo não entra na correcção do ETA, porque seguimos na direcção da rota, embora num percurso paralelo. Passado o obstáculo voltamos de novo  $60^\circ$  no sentido da última volta (isto é, no sentido oposto da volta inicial) e seguimos durante  $\Delta T$ . Findo este tempo voltamos  $60^\circ$  no sentido da alteração inicial para seguir ao longo da rota inicial. A alteração do ETA é de novo  $ETA + \Delta T$ .

O voo planeado pode conter pontos de mudança de rota. Se o obstáculo se encontrar na proximidade de um destes pontos, podemos seguir as manobras indicadas na Fig. 7.18. No caso (a) toma-se o rumo da rota seguinte já um tempo  $\Delta T$  antes do ETA do ponto de mudança de rota, até passar o obstáculo, atingindo-se depois a nova rota com o rumo da antiga rota, percorrido o tempo  $\Delta T$  neste rumo. O ETA no ponto de referência seguinte não sofre alteração. No caso (b) escolhe-se um ponto na segunda rota que é atingido por uma alteração à rota. O tempo de voo é diminuído. Se a alteração é feita  $\Delta T$  antes do ETA do ponto de mudança, e se a duração do voo no rumo alterado for  $t$ , o ETA do ponto de referência seguinte é alterado para  $ETA + t - 2\Delta T$ .

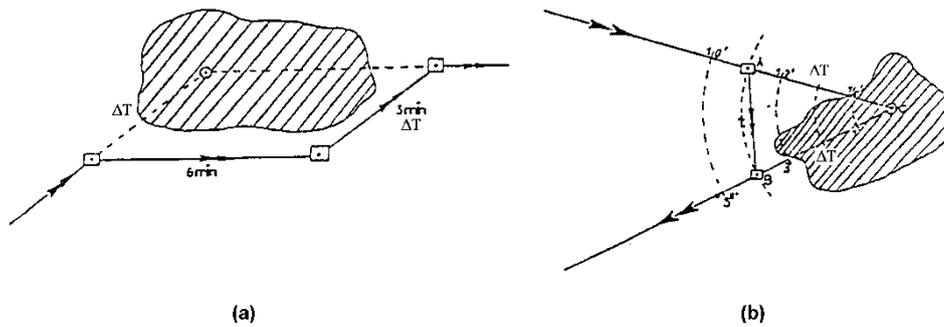


Fig. 7.18 - Obstáculos em pontos de mudança de rota.

A alteração mais drástica é necessária quando o aeródromo de destino não pode ser atingido por razões diversas e é necessário mudar a rota para um aeródromo alternante longe do aeródromo do destino original. Neste caso tem de se calcular a nova rota partindo da posição estimada presente ou de um fixo e levar em conta a previsão do vento e a declinação. A resolução do triângulo de velocidades indica o novo rumo e o ETA para a alternante. É de facto um planeamento de voo completo, a efectuar no cockpit, durante a pilotagem.

### 7.9 O círculo de incerteza

Se o piloto perdeu o fio à navegação e não reconhece os pontos de referência esperados, pode estabelecer uma posição estimada mais provável dentro do *círculo de incerteza*. O procedimento é o seguinte (Fig. 7.19):

- Estimar a distância voada desde o último fixo.
- Estimar a posição de acordo com o caminho provável.
- Traçar um círculo à volta da posição estimada, com o raio de 10% da distância voada estimada.
- Tentar de identificar no solo as referências que estão dentro do círculo na carta.

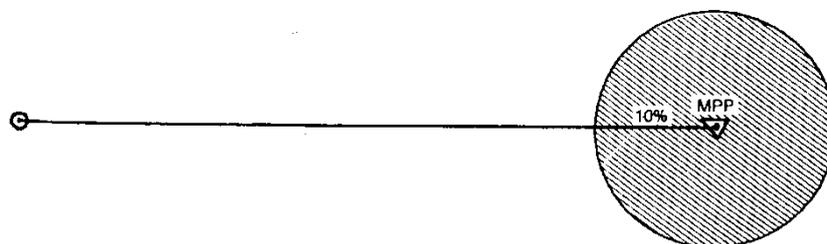


Fig. 7.19 - Círculo de incerteza.

Se continuar incerto da sua posição,

- aumentar o círculo de incerteza para 20% ou mais;
- subir a uma altitude maior para aumentar o alcance de visibilidade;
- seguir ao longo de uma linha de referência, tal como um rio, uma linha ferroviária, uma autoestrada, a linha da costa, até obter um fixo positivo;
- voltar 180° na tentativa de atingir o último fixo.

### 7.10 Raio de acção, ponto de não retorno e ponto crítico

O *raio de acção* é a maior distância que um avião pode percorrer dentro de um dado espaço de tempo, partindo de uma dada posição e regressando a essa mesma posição. O problema consiste em determinar o local e a hora a que se deve iniciar o regresso, de forma a alcançar o ponto de partida. Se não houvesse vento, a solução seria simples, correspondente a voar metade do tempo no rumo de ida e outra metade no rumo de volta. Contudo, em condições normais o vento fará diferir a VT da ida ( $V_i$ ) da VT de regresso ( $V_r$ ). Temos as relações entre as velocidades, o tempo total  $T$ , o tempo de ida  $T_i$  e o tempo de regresso  $T_r$

$$T_i = T V_r / (V_i + V_r) \quad \text{e} \quad T_r = T - T_i$$

e o raio de acção é

$$RA = T V_i V_r / (V_i + V_r)$$

Exemplo: Dados  $T=8$  horas,  $V_i=100KT$  e  $V_r=140KT$ . Gasta-se  $T_i = 8h \times 140KT / 240 KT = 4,67$  h na ida, e  $T_r = 8h-4,67h=3,33h$  no regresso. O raio de acção é  $RA = (8 \times 100 \times 140 / 240) NM = 466,7$  NM.

O *ponto de não retorno* é o ponto a partir do qual o avião não pode regressar ao ponto de partida, dentro dos seus limites de autonomia. É particularmente importante para voos sobre áreas que não dispõem de aeródromos alternantes, tais como voos transoceânicos ou sobre o Ártico. Este ponto não fica necessariamente próximo do ponto médio de voo. Em condições normais, fica bastante para lá desse ponto. Pode mesmo ficar para lá do ponto de destino, se a autonomia do avião for excessiva para as necessidades do voo. Temos as fórmulas para o tempo para o ponto de não retorno

$$T_{pnr} = T V_r / (V_i+V_r)$$

e para a distância correspondente

$$D_{pnr} = T V_i V_r / (V_i+V_r)$$

São as mesmas relações que no caso do raio de acção, só que  $T$  é aqui a autonomia, dado pela quantidade de combustível (tirando a reserva de segurança), e não um tempo dado por outras considerações operacionais.

O *ponto crítico* ou *ponto equitempo* é o ponto entre o ponto de partida e o ponto de destino a partir do qual se leva o mesmo tempo para atingir o destino ou para regressar. A distância do ponto de partida ao ponto crítico é

$$D_c = D V_r / (V_i+V_r)$$

e o tempo correspondente é

$$T_c = D_c / V_i$$

onde  $D$  é a distancia total, isto é entre os pontos de partida e destino.

## 8. O calculador de navegação

O calculador (ou computador) de navegação aérea consiste de uma parte circular e uma parte rectangular. Um lado da parte circular é uma régua de cálculo com escalas e marcas especiais (Fig.8.1), e o outro lado serve, em conjunto com a graticula da parte rectangular, para encontrar soluções de triângulos de velocidades (Fig. 8.2). O verso da parte rectangular pode ainda ter outras indicações, como por exemplo tabelas de factores  $F$  (para a conversão entre VAC e VAE), ou um gráfico para calcular a componente de vento cruzado. Discutimos primeiro o uso da régua de cálculo.

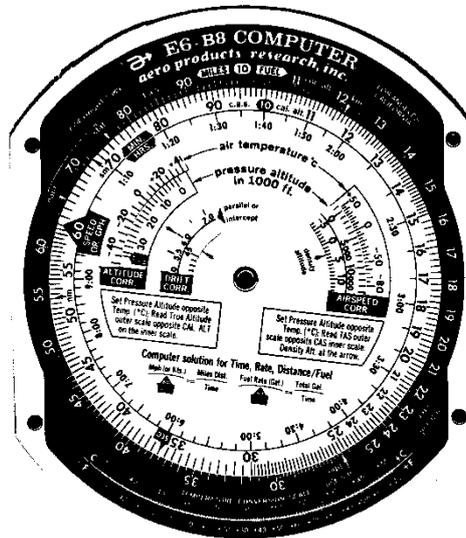


Fig. 8.1 - A régua de cálculo do computador de navegação.

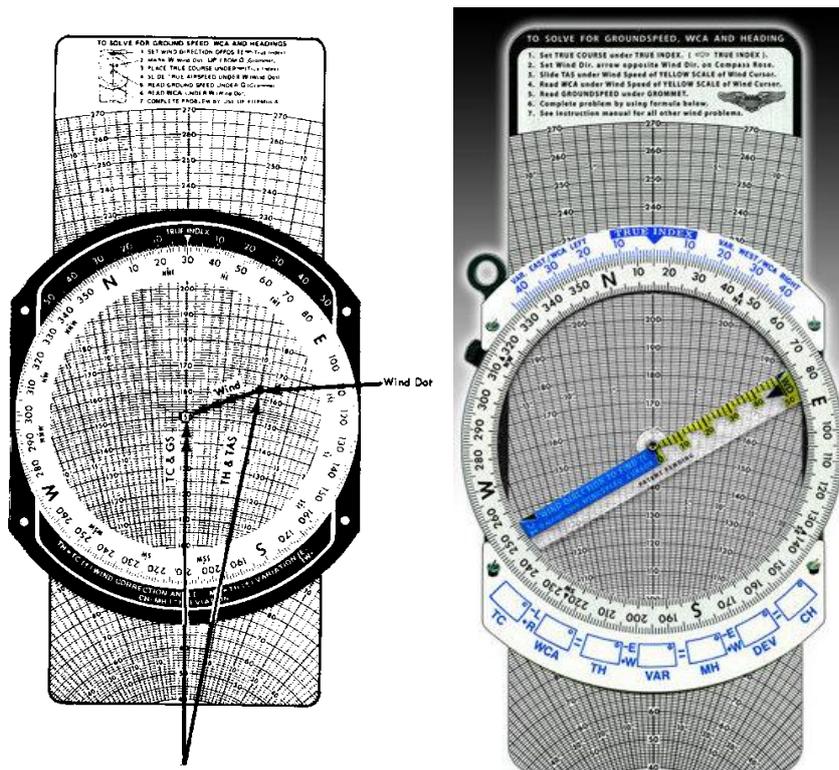


Fig. 8.2 - O lado do cálculo de triângulos de velocidades do computador de navegação. À direita, um computador com um *wind speed cursor arm*.

## 8.1 Tempo, velocidade, distância e combustível

As escalas circulares exteriores correspondem a uma régua de cálculo com escalas logarítmicas e podem ser utilizadas para efectuar multiplicações, divisões e calcular quocientes. Como acontece no caso de qualquer régua de cálculo, é essencial fazer antes um *cálculo mental aproximado* para determinar a posição da casa decimal, porque por exemplo o resultado 20 pode significar 2, 20, 2000, 0,02 etc.. As operações básicas são efectuadas como indicado nos exemplos seguintes.

Exemplo: Multiplicação  $3,25 \times 4,29$  (ver Fig. 8.3).

- Cálculo mental aproximado:  $3 \times 4 = 12$ .
- Procurar 32,5 na escala exterior.
- Colocar o 10 da escala interior abaixo dos 32,5.
- Procurar 42,9 na escala interior
- Encontrar o resultado na escala exterior, acima dos 42,9  $\rightarrow 13,9$ .
- O cálculo aproximado dá 12, então o resultado é 13,9 e não 139 ou 1,39 etc..

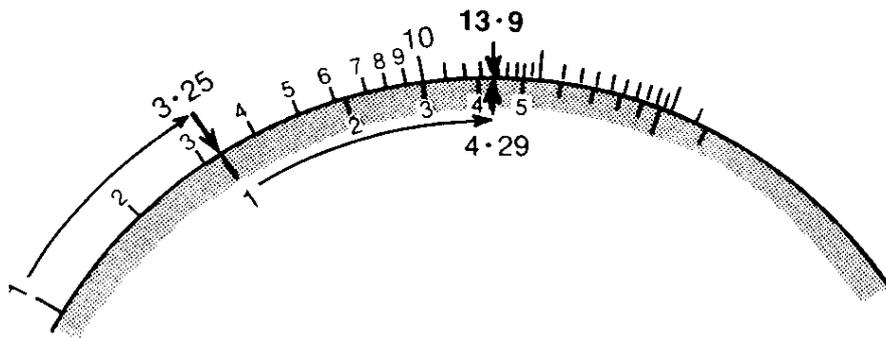


Fig. 8.3 - Multiplicação.

Exemplo: Divisão  $36 / 12$  (ver Fig. 8.4).

- Cálculo mental:  $36 / 12 = 3$ .
- Procurar 36 na escala exterior.
- Colocar o valor 12 da escala interior abaixo dos 36.
- Procurar o 10 da escala interior.
- Encontrar o resultado na escala exterior, acima dos 10  $\rightarrow 30$ .
- O cálculo aproximado dá 3, então o resultado é 3 e não 30.

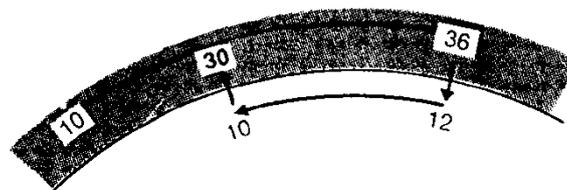


Fig. 8.4 - Divisão.

Exemplo: Quocientes  $D / 3,96 = 25,7 / 5,12$ , encontrar D (ver Fig. 8.5).

- Cálculo mental:  $D / 4 = 25 / 5$  dá  $D \cong 20$ .
- Procurar 25,7 na escala exterior e colocar 51,2 da escala interior abaixo deste valor.
- Encontrar D na escala exterior acima de 39,6 da escala interior  $\rightarrow 19,9$ .
- O cálculo aproximado dava 20, então o resultado é 19,9.

Exemplo: Quocientes  $19,9 / R = 25,7 / 5,12$ , encontrar R (ver Fig. 8.5 também).

- Cálculo mental:  $20 / R = 25 / 5$  dá  $R \cong 4$ .
- Procurar 25,7 na escala exterior e colocar 51,2 da escala interior abaixo deste valor.
- Encontrar R na escala interior abaixo de 19,9 da escala exterior  $\rightarrow 39,6$ .
- O cálculo aproximado dá 4, então o resultado é 3,96.

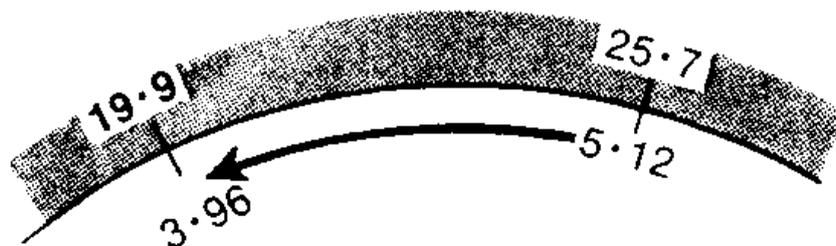


Fig. 8.5 - Quocientes.

Os problemas relacionados com o tempo (consumos, velocidades, distâncias percorridas) podem ser resolvidos de acordo com as operações standard indicadas acima. Como o consumo de combustível horário é dado em quantidade por hora, portanto por 60 min, e sendo os nós milhas náuticas por hora, então também por 60 min, a escala interior tem uma marca grande na posição dos 60 (existe ainda uma sub-escala graduada em horas).

Exemplos, utilizando as indicações (a), (b), e (c) na Fig. 8.6.

- (a) Dado um consumo horário de 14 galões, qual é a quantidade de combustível gasta em 30min? Resposta: 7 galões.
- (b) Dado uma VT = 140KT, qual é a distância voada em 15min? Resposta: 35NM.
- (c) Dado uma VT = 140KT, quanto tempo é necessário para viajar 65NM? Resposta: 28min. Com o ETD 1200 o ETA seria 1228.
- (d) Dado um consumo horário de 14 galões, e dada a quantidade de combustível usável de 79 galões, qual é a autonomia considerando uma reserva de segurança de 1 hora? Subtrair uma hora de consumo, isto é 14 galões, do total  $\rightarrow 65$  galões. Calcular de acordo com (c) o resultado  $\cong 280$ min, equivalente (ver sub-escala) a 4h40min de autonomia.

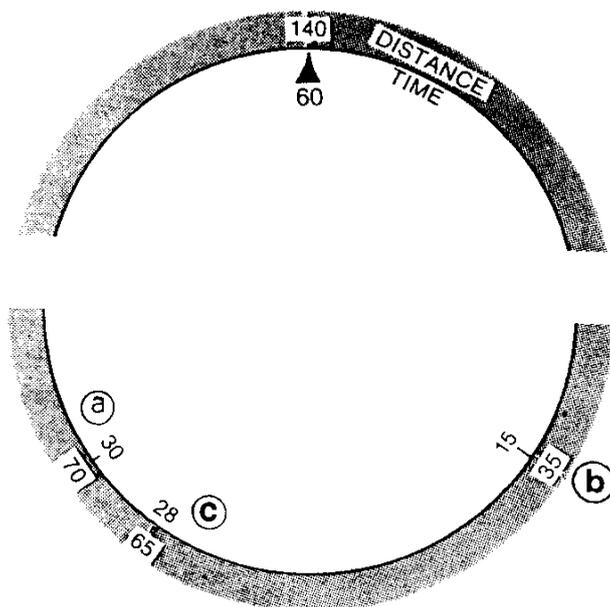


Fig. 8.6 - Combustível, distância, tempo.

Exemplo: Viajamos 16NM em 10min, qual é a VT? Resposta: 96KT (Fig. 8.7).



Fig. 8.7 - Velocidade terreno.

## 8.2 Problemas de erro de rota

Problemas de proporcionalidade e a regra 1 em 60 podem ser resolvidos no computador.

Exemplo (Fig. 8.8): Depois de voar 20NM, o afastamento da rota é 5NM. Qual será o afastamento depois de voar 60NM? A resposta é 15NM. De acordo com a regra 1 em 60, o erro de rota é  $15^{\circ}$ .

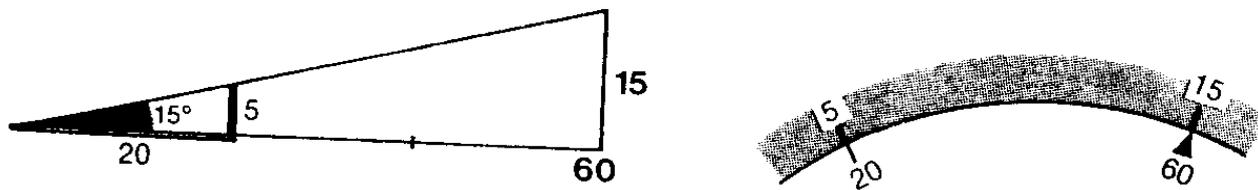


Fig. 8.8 - Afastamentos e erro de rota.

Alguns computadores de navegação têm uma escala especial para calcular o erro de rota com mais precisão (a regra 1 em 60 é uma aproximação). Como no exemplo anterior, coloca-se o valor

do afastamento acima do valor da distância voada. Em vez de ler o resultado acima dos 60 da escala interior, lê-se na posição da seta que aponta para a escala dentro da janela chamada “Drift Correction” (visível na Fig. 8.1). No exemplo o erro de rota mais correcto seria  $14^{\circ}$ . Também aqui é necessário fazer o cálculo mental (com a regra 1 em 60), porque a janela contém duas escalas, uma para ângulos pequenos (menos de  $10^{\circ}$ ) e outra para ângulos maiores.

### 8.3 Conversão de unidades

*Temperaturas:* Existe uma escala de conversão entre graus Celsius (centígrados) e graus Fahrenheit no computador (em baixo na Fig. 8.1), porque ambas as unidades são frequentemente utilizadas na aviação. A escala existe para permitir uma conversão rápida, porque não é possível converter entre estas unidades por uma mera multiplicação. As relações de conversão são

$$F = C \frac{9}{5} + 32 \quad \text{ou} \quad C = (F-32) \frac{5}{9}.$$

Vê-se que o ponto zero de uma escala não corresponde ao zero da outra.

Exemplos:

$$\begin{aligned} -40^{\circ}\text{F} &= -40^{\circ}\text{C} \\ 0^{\circ}\text{F} &\cong -18^{\circ}\text{C} \\ 32^{\circ}\text{F} &= 0^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

*Distâncias e velocidades:* Já foi dito que existem três unidades diferentes em uso para medir distâncias, a milha náutica (NM), o quilómetro (km) e a milha terrestre (SM). A estas correspondem as velocidades medidas em nós (KT), em quilómetros por hora (km/h) e em milhas terrestres por hora (MPH). As relações de conversão válidas para as distâncias aplicam-se também para as velocidades correspondentes. A escala exterior da régua de cálculo tem três índices, *NAUT*, *STAT* e *KM*. O procedimento é o seguinte:

- Fazer o cálculo mental com as aproximações  $1 \text{ NM} \cong 1,2 \text{ SM} \cong 2 \text{ km}$ .
- Colocar o valor da quantidade conhecida na escala interior, abaixo do índice que corresponde à unidade da quantidade conhecida.
- Ler o valor da quantidade procurada na escala interior, abaixo do índice da unidade procurada.

Exemplo: Quantas milhas náuticas e quantas milhas terrestres correspondem a 228 km? Solução:  $228 \text{ km} = 142 \text{ SM} = 123 \text{ NM}$  (ver Fig. 8.9).

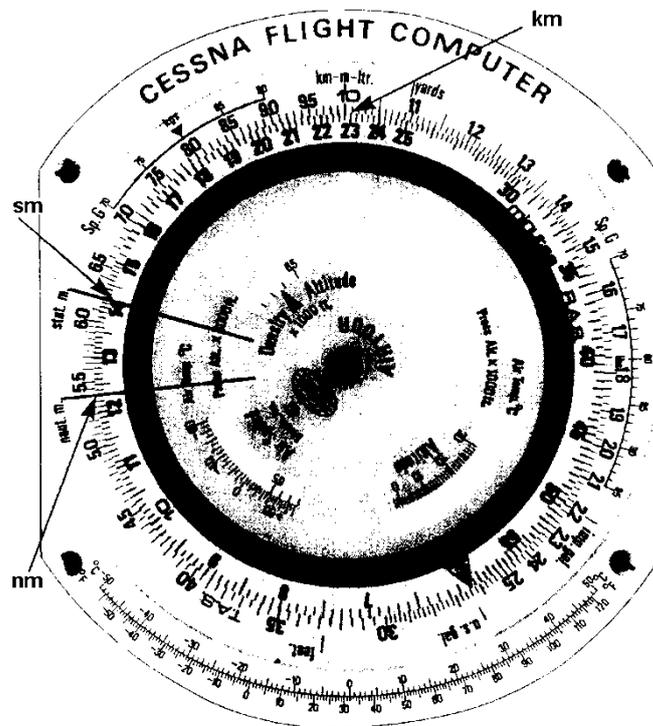


Fig. 8.9 - Conversão de distâncias.

*Altitudes:* Alguns computadores levam também marcas para conversão entre pés (FT) e metros (M) e é possível proceder da maneira indicada acima para converter distâncias. O computador da Fig. 8.1 não tem estas marcas, por isso temos de utilizar simplesmente a régua de cálculo para multiplicações ou divisões utilizando as relações

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m} \quad \text{ou} \quad 1 \text{ m} = 3,281 \text{ ft.}$$

*Litros e galões:* A quantidade de combustível pode ser medida em galões americanos (unidade utilizada nos Estados Unidos), galões imperiais (utilizados no Reino Unido e no Canadá) e litros. Para a conversão utiliza-se os índices na escala exterior *US GAL*, *IMP GAL* e *LITERS* (alguns computadores usam a posição 10 como índice para os litros) e prossegue-se como nas conversões entre unidades de distâncias. No cálculo mental aproximado pode utilizar as relações

$$1 \text{ Imp. gal.} \cong 1.2 \text{ US gal.}$$

$$1 \text{ US gal} \cong 4 \text{ lit.}$$

Exemplo: Quantos litros e quantos galões imperiais correspondem a 20 galões americanos?  
Resposta: 20 US GAL = 16,6 IMP GAL = 75,7 LIT (Fig. 8.10(a)).

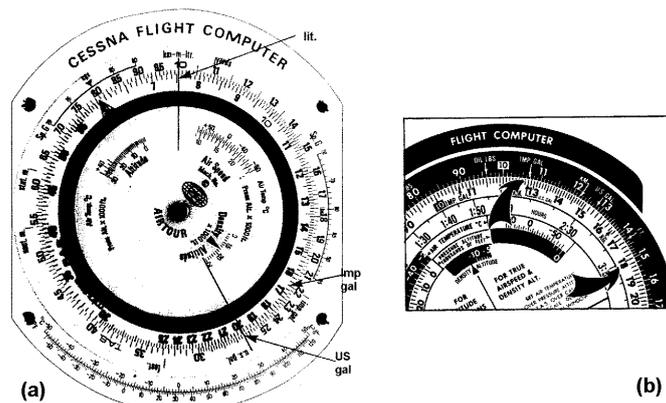


Fig. 8.10 - Litros e galões.

Um outro esquema de conversões: O computador na Fig. 8.10(b) utiliza um outro sistema para as conversões. Neste tipo de computador, coloca-se a seta da primeira unidade frente a frente à seta da outra unidade, e lê-se os valores numéricos das conversões nas escalas correspondentes. Este tipo de procedimento é utilizado na conversão de distâncias e velocidades, altitudes, volumes e pesos.

Exemplo: Converter galões imperiais em galões americanos. Procurar a seta denominada *IMP GAL* na escala exterior e a seta *US GAL* na escala interior. Rodar a escala interior para colocar estas setas uma em frente à outra, como indicado na Fig. 8.10(b). Para converter 15 Imp.gal. em US gal., procurar o valor 15 (Imp.gal.) na escala exterior e ler frente a este o resultado 18 (US gal.) na escala interior.

#### 8.4 Velocidade ar verdadeira e número de Mach

Dada a *altitude pressão* (lida com a janela de Kollsman ajustada a 1013,2 hPa) e a temperatura do ar exterior (*outside air temperature OAT* lida no termómetro do avião), o computador converte a VAC (CAS) em VAV (TAS):

- Na janela *AIRSPEED* colocar a temperatura do ar em  $^{\circ}\text{C}$  em frente à altitude pressão em pés.
- Ler a VAV na escala da régua de cálculo exterior em frente à VAC na escala interior.

Exemplo: Altitude pressão 10 000', temperatura  $0^{\circ}\text{C}$ , VAC 150KT. Resultado: VAV = 176KT (Fig. 8.11).

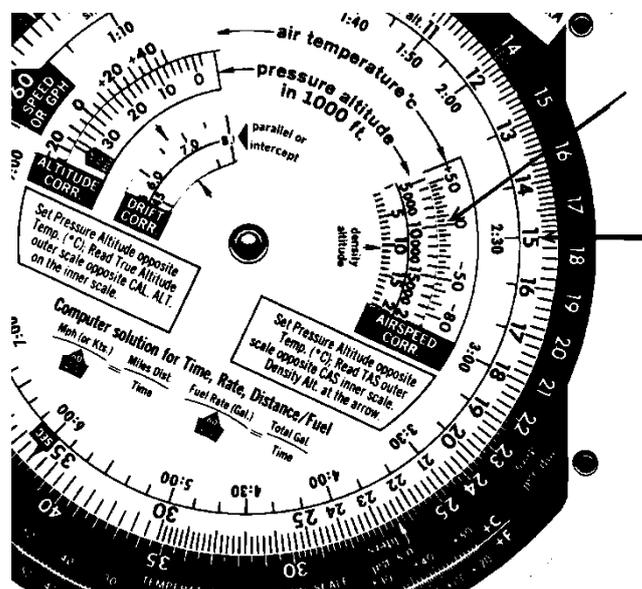


Fig.8.11 - Conversão VAC para VAV e cálculo da altitude densidade.

Para converter entre a VAV e o número de Mach:

- Rodar o disco do computador até que o ponteiro *MACH NO. INDEX* apareça na janela marcada *AIRSPEED*.
- Pôr a seta de Mach em frente à temperatura do ar em  $^{\circ}\text{C}$ .
- Os valores da VAV em nós aparecem na escala exterior, frente a frente aos números de Mach na escala interior da régua de cálculo.

Exemplo: Temperatura  $-20^{\circ}\text{C}$ . Mach = 1,2  $\leftrightarrow$  VAV = 742 KT (Fig. 8.12).

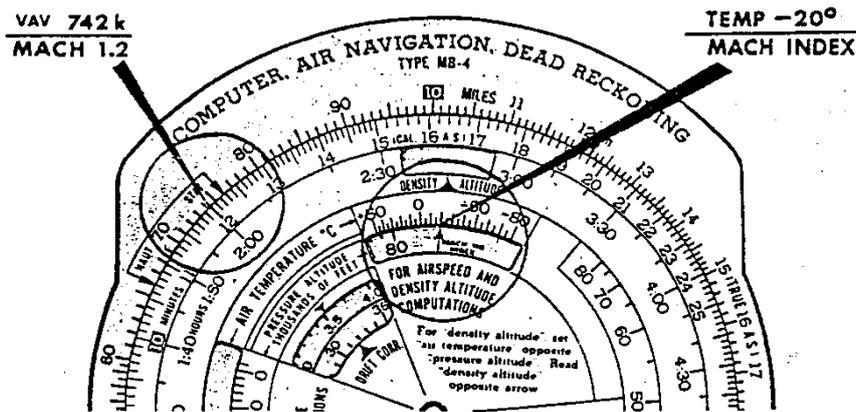


Fig. 8.12 - VAV e número de Mach.

### 8.5 Altitude verdadeira e altitude densidade

Para obter a altitude densidade dadas a altitude pressão e a temperatura:

- Na janela *AIRSPEED*, colocar a altitude pressão em pés em frente à temperatura em  $^{\circ}\text{C}$ .
- Ler a altitude densidade em pés na seta *DENSITY ALT.*

Exemplo: Altitude pressão 10 000', temperatura  $0^{\circ}\text{C}$  → altitude densidade 10 500' (ver Fig. 8.11).

A altitude verdadeira é obtida da seguinte maneira:

- Na janela *ALTITUDE*, colocar a altitude pressão em pés em frente à temperatura em  $^{\circ}\text{C}$ .
- Ler a altitude verdadeira na escala da régua de cálculo exterior em frente à altitude calibrada na escala interior.

Exemplo: Altitude pressão 12 000' (janela de Kollsman ajustada em 1013,2 hPa), altitude calibrada 11 500' (com QNH posto na janela de Kollsman), temperatura  $-20^{\circ}\text{C}$  → altitude verdadeira 11 000' (Fig. 8.13).

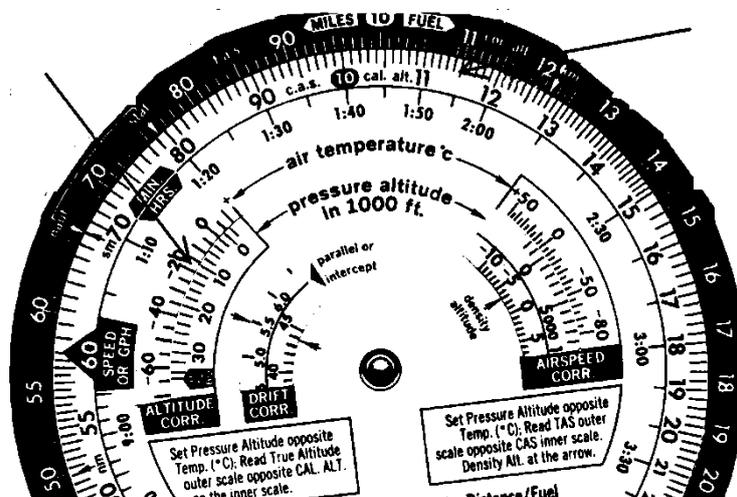


Fig. 8.13 - Altitude verdadeira.

## 8.6 Resolução de triângulos de velocidades

Podemos imaginar os vectores do triângulo traçados no lado do cálculo de triângulos de velocidades, como indica a Fig. 8.2. Porém, não é necessário na prática traçar todo o triângulo no computador, é suficiente marcar o vector do vento com um ponto ou uma cruz só (“wind dot” na Fig. 8.2), dado que o orifício no centro do disco do computador coincide sempre com o outro extremo do V/V. Deve no entanto traçar sempre um triângulo aproximado num papel de rascunho para controlar o resultado obtido no computador! Existem dois métodos de resolver os problemas dos triângulos de velocidades que se distinguem pela maneira como é colocado o triângulo de velocidades no computador. Ambos dão resultados correctos. Nestas notas é apresentado sempre só um método para cada problema. A marca pode ser feita com uma caneta apropriada e é facilmente apagada com um dedo húmido. Recordemos ainda que os vectores do triângulo de velocidades têm de ser todos referentes ao mesmo Norte, isto é, *as direcções têm de ser todas verdadeiras* (ou todas magnéticas).

O lado do cálculo de triângulos de velocidades do computador de navegação consiste em três peças.

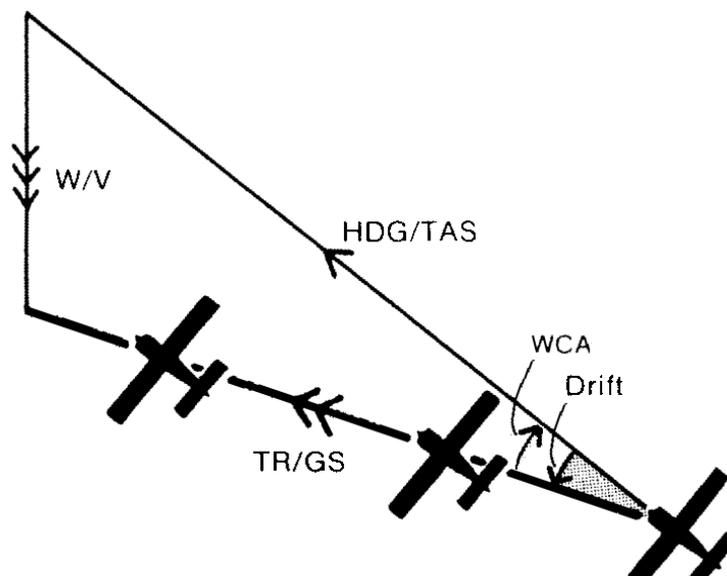
- *Disco* transparente, com uma *rosa dos ventos* graduada em graus na periferia e um *ilhó* no centro.
- *Armação* com o *índice verdadeiro* (“true index”) e uma escala de *abatimentos* em graus para a direita e para a esquerda.
- *Cursor*, que é a parte rectangular e que contém uma graticula de *arcos de velocidade* e *linhas de abatimento* com uma *linha central* (de abatimento zero).

*Termos e siglas:*

Caminho ou rota:	TK, TR, TRK (track), TC, MC (true, magnetic course)
Rumo:	HDG (heading), TH, MH, CH (true, magnetic, compass hdg)
VAV (velocidade ar verdadeira):	TAS (true air speed)
VT (velocidade terreno):	GS (ground speed)
V/V (vector do vento):	W/V (wind vector)
Deriva:	Drift
Abatimento (correção à deriva):	WCA (wind correction angle), Crab

Cv, Cm: caminho verdadeiro, camino magnético

Rv, Rm, Rb: rumo verdadeiro, rumo magnético, rumo de bússola



Os principais tipos de problemas que o piloto encontra na prática são os seguintes. Não se deve esquecer que a bússola indica rumos magnéticos em não verdadeiros.

DETERMINAR RUMO E VT (PLANEAMENTO DO VOO). Dados: rota, V/V, VAV.

- Rodar o disco para posicionar a direcção do vento em frente ao índice verdadeiro.
- Marcar com um ponto no disco a intensidade do vento acima do ilhó na linha central, com ajuda dos arcos de velocidade (colocando um arco conveniente qualquer na posição do ilhó e contando o número de nós apropriado para cima).
- Rodar o disco para posicionar a rota em frente ao índice verdadeiro.
- Deslizar o cursor para colocar o arco correspondente à VAV abaixo da marca do vento.
- Ler a VT na posição do ilhó.
- Ler o abatimento nas linhas de abatimento na posição do ponto do vento.
- Ler o rumo na escala do disco em frente ao valor do abatimento (para esquerda ou direita) na escala de abatimentos da armação.

Usando um computador com *wind speed cursor arm*:

- Rodar o disco para posicionar a rota em frente ao índice verdadeiro.
- Rodar o *wind speed cursor arm* na direcção do vento.
- Deslizar o cursor para colocar o arco correspondente à VAV abaixo do valor da intensidade do vento na escala do *wind speed cursor arm*.
- Ler o abatimento nas linhas de abatimento nesta mesma posição do *wind speed cursor arm*.
- Ler a VT na posição do ilhó.
- Ler o rumo na escala do disco em frente ao valor do abatimento (para esquerda ou direita) na escala de abatimentos da armação.

Exemplo: Rota verdadeira = 150, V/V = 360/30KT, VAV = 100KT → abatimento = 9°e, Rv = 141, VT = 125KT (ver Fig. 8.14).

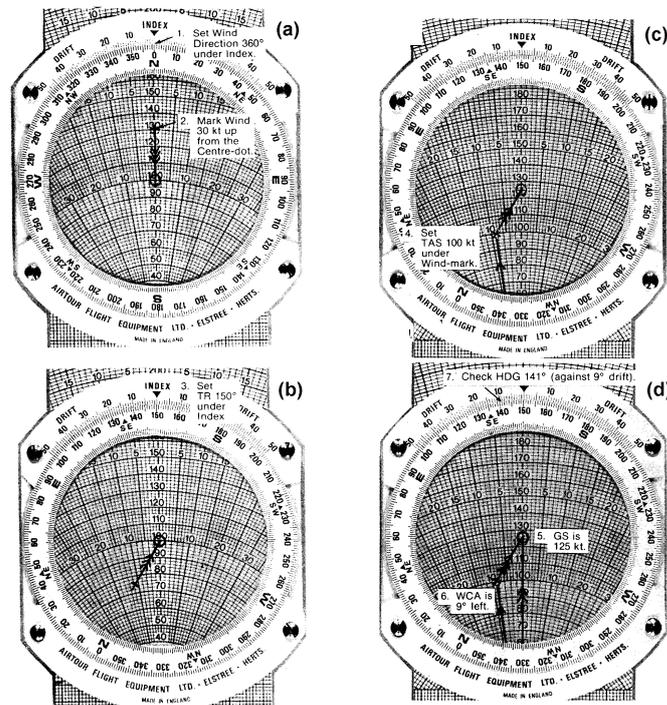


Fig. 8.14 - Determinar rumo e VT. Os passos apresentam-se na ordem (a)(b)(c)(d). A marca do vento é a cruz. Os vectores todos são traçados aqui explicitamente.

DETERMINAR VAV/RUMO (PLANEAMENTO DO VOO). Dados: VT/rota, V/V.

- Colocar direção do vento em frente ao índice.
- Marcar intensidade do vento acima do ilhó na linha central.
- Colocar rota em frente ao índice.
- Colocar VT no ilhó.
- Ler VAV na marca do vento.
- Ler abatimento na marca do vento.
- Ler rumo na rosa dos ventos em frente ao abatimento na escala de abatimentos.

Usando um computador com *wind speed cursor arm*:

- Colocar rota em frente ao índice.
- Colocar VT no ilhó.
- Rodar o *wind speed cursor arm* na direção do vento.
- Ler VAV na posição da intensidade do vento na escala do *wind speed cursor arm*.
- Ler o abatimento neste mesmo ponto.
- Ler rumo na rosa dos ventos em frente ao abatimento na escala de abatimentos.

Exemplo: Rota = 290, VT = 120KT, V/V = 240/40KT → VAV = 150KT, abatimento = 12e, Rv = 278 (Fig. 8.15).

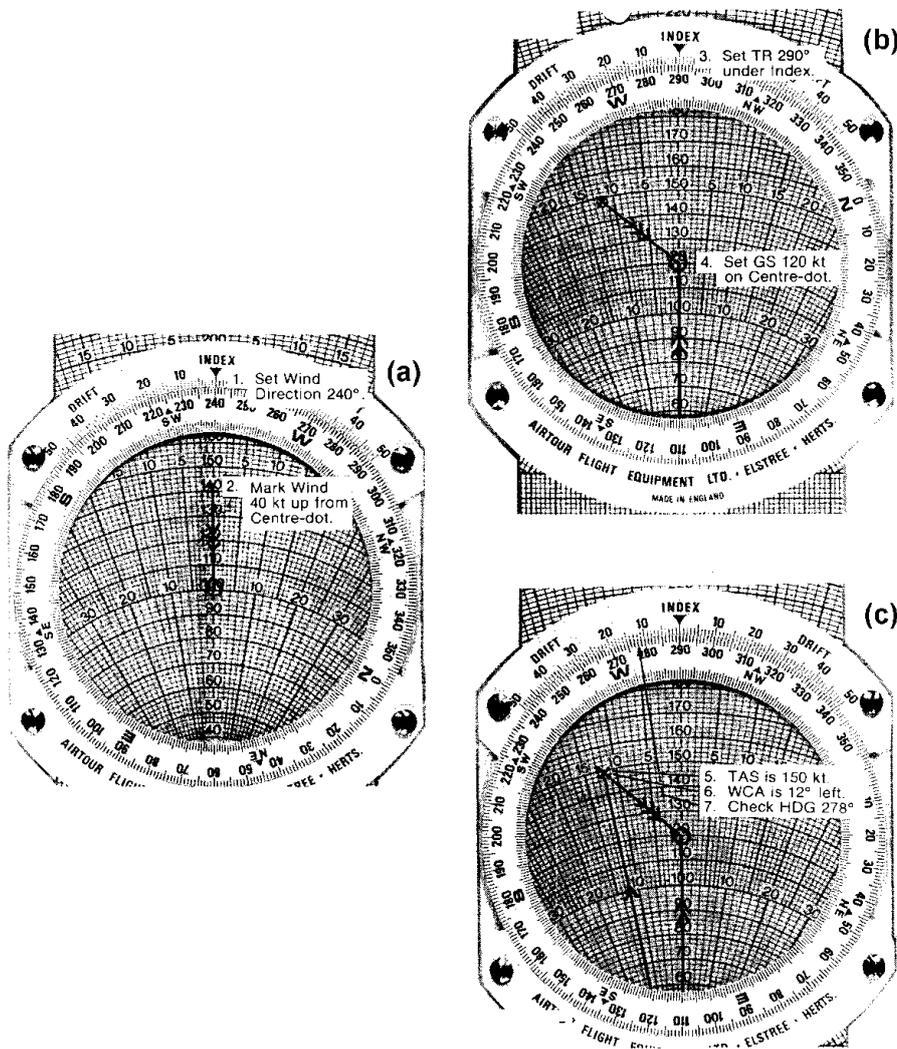


Fig. 8.15 - Determinar VAV/rumo.

DETERMINAR V/V (EM VOO). Dados: VAV/rumo (obtidos a partir das indicações dos instrumentos), VT/caminho (observados dos fixos ou do GPS).

- Rodar o disco para posicionar o caminho abaixo do índice verdadeiro.
- Deslizar o cursor para posicionar a VT no ilhó.
- Da diferença entre rumo e rota determinar o abatimento.
- Marcar o ponto do vento no cruzamento entre a linha do abatimento e a VAV.
- Rodar o disco para colocar o ponto do vento acima do ilhó na linha central.
- Ler a direcção do vento na rosa dos ventos abaixo do índice verdadeiro.
- Deslizar o cursor a uma posição conveniente para determinar a intensidade do vento da distância entre o ilhó e o ponto do vento, utilizando os arcos de velocidade.

Usando um computador com *wind speed cursor arm*:

- Rodar o disco para posicionar o caminho abaixo do índice verdadeiro.
- Deslizar o cursor para posicionar a VT no ilhó.
- Da diferença entre rumo e rota determinar o abatimento.
- Rodar o *wind speed cursor arm* para intercepar o ponto onde a linha do abatimento e a VAV se cruzam.
- Este ponto de cruzamento marca a intensidade do vento na escala do *wind speed cursor arm*.
- Ler a direcção do vento dada pela posição do *wind speed cursor arm*.

Exemplo:  $C_v = 040$ ,  $VT = 145$  MPH,  $R_v = 048$ ,  $VAV = 166$  MPH  $\rightarrow$  abatimento =  $8^{\circ}$ d,  $V/V = 090/30$  MPH (Fig. 8.16). Este exemplo mostra que se pode utilizar MPH ou km/h em vez de KT, se isto é feito de uma maneira consistente.

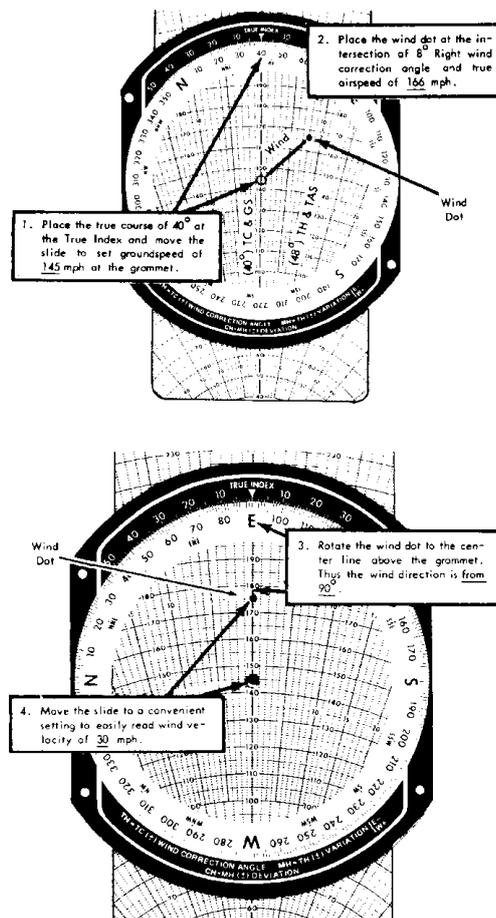


Fig. 8.16 - Determinar V/V.

DETERMINAR VT/CAMINHO (EM VOO). Dados: VAV/rumo, V/V.

- Rodar o disco e colocar a direcção do vento em frente ao índice verdadeiro.
- Marcar o ponto do vento na linha central **abaixo** do ilhó, a uma distância correspondente à intensidade do vento. Dado que o caminho não é conhecido, este procedimento difere dos outros.
- Rodar o disco e colocar o rumo em frente ao índice verdadeiro.
- Deslizar o cursor e colocar a VAV abaixo do ilhó.
- A VT aparece na posição do ponto do vento.
- A **deriva** é lida na posição do ponto do vento. Não é o abatimento neste caso.
- O caminho é lido na rosa dos ventos em frente ao valor da deriva na escala de abatimentos.

Usando um computador com *wind speed cursor arm*:

- Rodar o disco para colocar o rumo em frente ao índice verdadeiro
- Deslizar o cursor e colocar a VAV abaixo do ilhó.
- Rodar o **lado oposto** (cauda) do *wind speed cursor arm* na direcção do vento.
- A VT aparece na posição da velocidade do vento na escala do *wind speed cursor arm*.
- A **deriva** é também lida nesta mesma posição. Não é o abatimento neste caso.
- O caminho é lido na rosa dos ventos em frente ao valor da deriva na escala de abatimentos.

Exemplo: VAV = 120KT, Rv = 050, V/V = 115/40KT → VT = 108KT, deriva = 19°e, Cv = 031 (na Fig. 8.17 o triângulo de velocidades apresenta-se de uma maneira diferente dos outros casos).

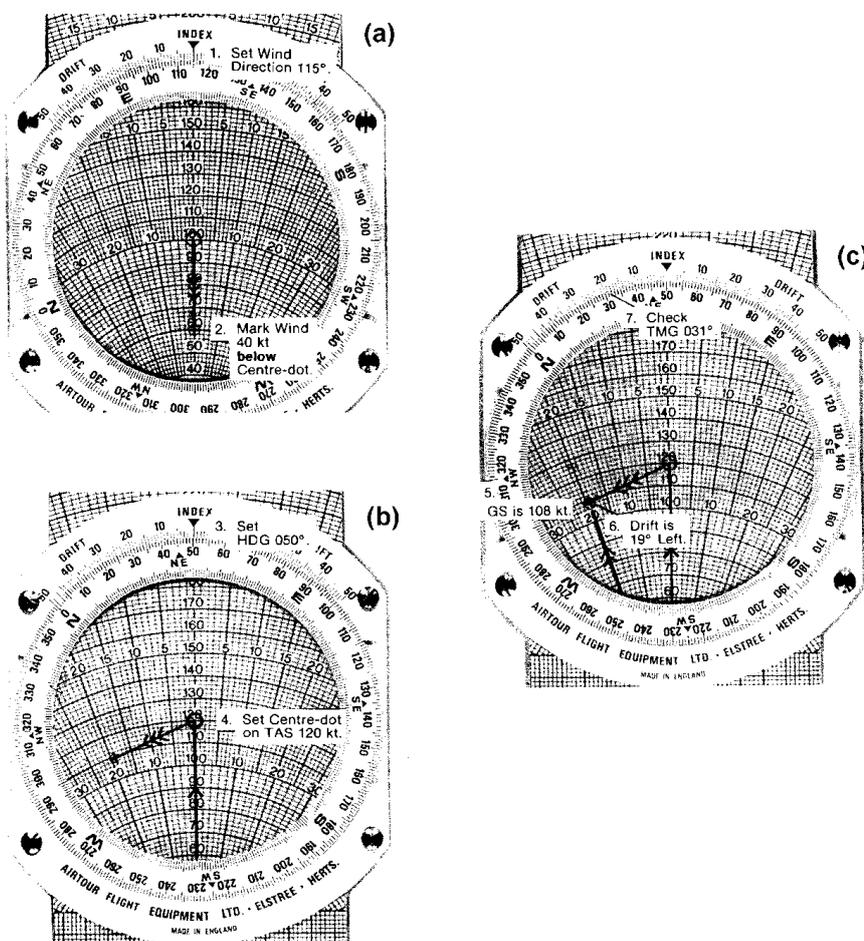


Fig 8.17 - Determinar VT/caminho.

DETERMINAR INTENSIDADE DO VENTO E VT (EM VOO). Dados: VAV/rumo, caminho, direcção do vento.

- Colocar a direcção do vento em frente ao índice.
- Traçar a linha do vento ao longo da linha central para cima do ilhó.
- Colocar o caminho em frente ao índice.
- Calcular o abatimento da diferença entre o caminho e o rumo.
- Localizar no cursor o ponto onde o arco correspondente à VAV cruza a linha correspondente ao abatimento.
- Deslizar o cursor para fazer a linha do vento marcada no disco passar pelo cruzamento VAV/abatimento e marcar este ponto (que é o ponto do vento).
- Ler a VT na posição do ilhó.
- Rodar o disco para colocar a linha do vento outra vez ao longo da linha central do cursor.
- Ler a intensidade do vento como distância entre o ilhó e o ponto do vento.

Exemplo: VAV = 150KT,  $R_v = 070$ ,  $C_v = 083$ , direcção do vento 020 → abatimento = 13e, VT = 129KT, intensidade do vento = 38KT (Fig. 8.18).

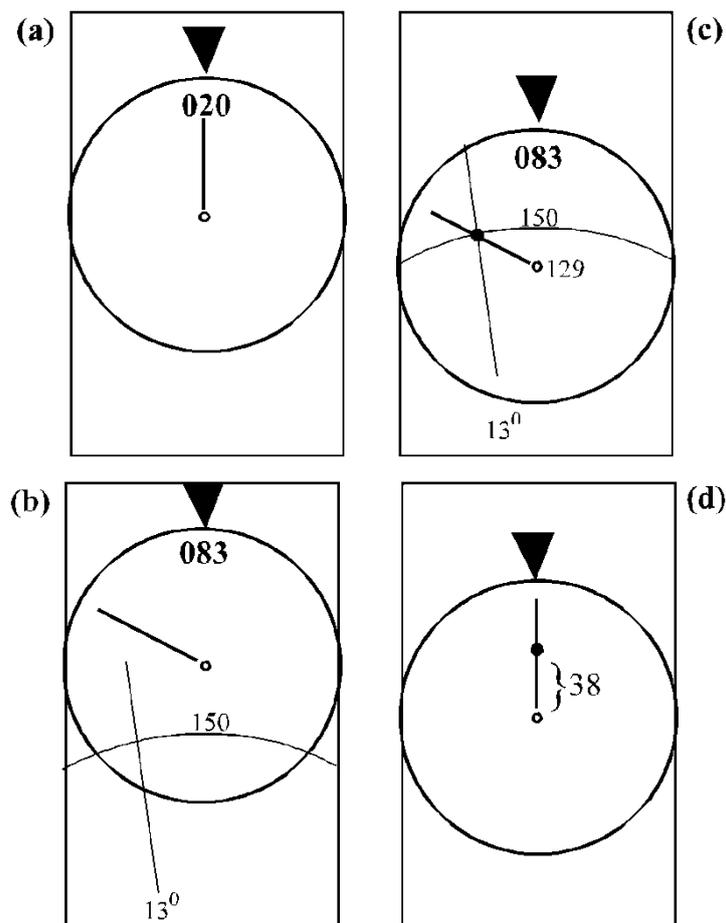


Fig. 8.18 - Determinar intensidade do vento e VT.

### 8.7 Outros problemas relacionados com o vento

COMPONENTES DO VENTO. Muitas vezes, por exemplo nas aterragens e descolagens, é necessário saber qual é a intensidade do vento de frente (ou de trás) e do vento cruzado (isto é, a intensidade com a qual o vento sopra do lado). As componentes referem-se sempre ao eixo longitudinal do avião. Dado o V/V temos primeiro de calcular o ângulo relativo entre a direcção do vento e do eixo

do avião (direcções consistentemente magnéticas ou verdadeiras!). Depois utiliza-se o diagrama “wind component grid” que alguns computadores têm (caso contrário encontra-se muitas vezes no manual do avião). Este diagrama consiste de uma graticula de arcos de velocidades (intensidades do vento) e linhas de ângulos relativos. O procedimento é o seguinte:

- Calcular o ângulo relativo entre o V/V e o eixo do avião.
- Localizar o ponto na linha do ângulo relativo obtido onde passa o arco da intensidade do vento.
- Uma linha perpendicular que passa por este ponto cruza o eixo horizontal “crosswind component” no valor da intensidade do vento cruzado.
- Uma linha horizontal que passa pelo ponto cruza o eixo vertical “headwind component” no valor da intensidade do vento de frente.

Nota: Caso o ângulo relativo seja superior a  $90^{\circ}$ , calcula-se  $180^{\circ}$  menos este ângulo e o vento de frente torna-se na realidade vento de cauda.

Exemplo: V/V = 127/40KT (direcção magnética). O piloto quer descolar da pista 16 que é orientada na direcção 157. O ângulo relativo é então  $30^{\circ}$ . Consultando o gráfico vemos que a componente de frente é 35KT e o vento cruzado é 20KT (Fig. 8.19).

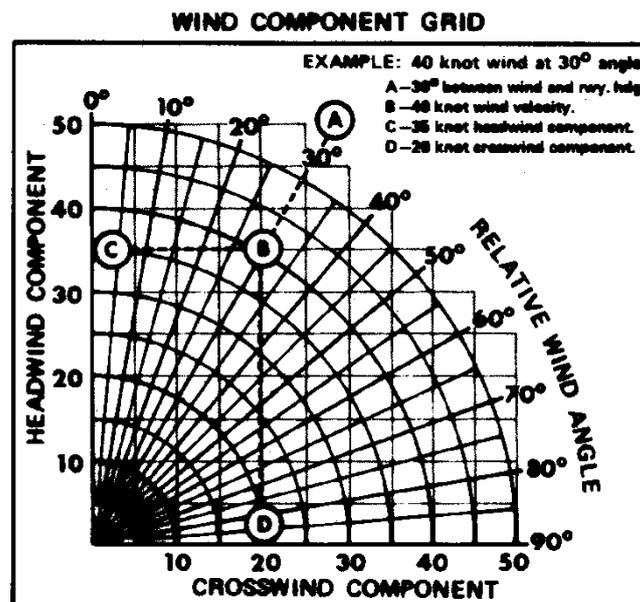


Fig. 8.19 - Componentes do vento.

Alguns modelos de computadores têm uma grelha e um esquema diferente para o cálculo de acordo com as respectivas instruções do manual.

MEDIÇÃO DO V/V A PARTIR DE DERIVAS. Um avião no ar pode determinar directamente o V/V sabendo as derivas em rumos diferentes. As derivas podem ser determinadas utilizando referências no terreno. Alguns aviões têm um instrumento chamado *derivómetro* que facilita este trabalho. O procedimento é o seguinte (sendo a VAV constante e sendo as alterações do rumo escolhidas de acordo com a Fig. 7.17(a) para facilitar o cálculo do ETA).

- No rumo inicial  $r_1$  determinar a deriva  $d_1$ .
- Durante um tempo  $T$  alterar o rumo para  $r_2 = r_1 - 60^{\circ}$  e determinar a deriva  $d_2$ .
- Durante um mesmo intervalo de tempo  $T$  alterar novamente o rumo para  $r_3 = r_1 + 60^{\circ}$  e determinar a deriva  $d_3$ .
- Voltar ao rumo inicial (o novo ETA tem de ser alterado para  $ETA + T$ ).
- Posicionar o ilhó do disco na VAV.

- Rodar o disco do computador para colocar r1 em frente ao índice verdadeiro e traçar uma linha ao longo da linha (da graticula de abatimentos) com o valor angular d1 (e direcção esquerda/direita).
- Repetir o último passo para r2 e d2.
- Repetir o último passo para r3 e d3.
- As três linhas traçadas cruzam-se aproximadamente num ponto (ou pelo menos formam um triângulo pequeno cujo centro geométrico define o ponto).
- Rodar o disco para colocar este ponto na linha central *abaixo* do ilhó.
- A distância entre ponto e ilhó corresponde à intensidade do vento.
- O valor angular na rosa dos ventos em frente ao índice verdadeiro indica a direcção do vento.

Exemplo: Com uma VAV de 150KT, encontramos no Rv 090 a deriva 3<sup>o</sup>d, para 030 7<sup>o</sup>d, e para 150 3<sup>o</sup>e → V/V = 301/18KT (Fig. 8.20).

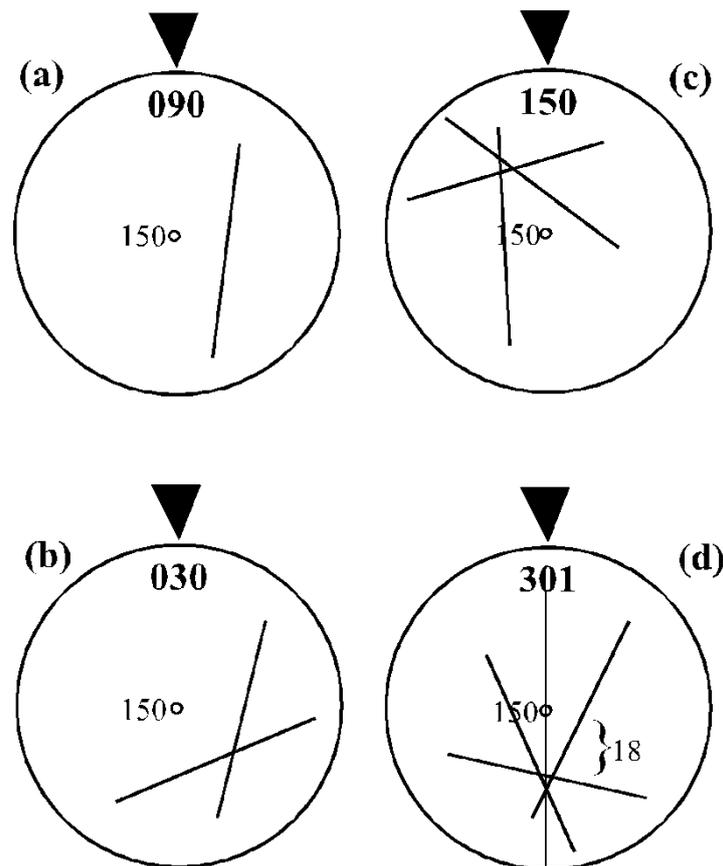


Fig. 8.20 - Medição do V/V.

## 9. O tempo (horário)

O tempo é de grande importância para a navegação, e o relógio é um dos instrumentos básicos no cockpit. A rotação da Terra à volta do seu próprio eixo e a sua órbita à volta do Sol define a duração do dia e do ano, e é responsável pela aparência das estações do ano. Actualmente, a medição do tempo é baseada na definição do *segundo* medido com relógios atómicos, mas para os efeitos da aviação podemos considerar a duração do dia sendo exactamente 24 horas.

### 9.1 Tempo Médio Local e Tempo Universal UTC

A passagem diária aparente do Sol pela sua posição mais elevada serviu já há milhares de anos para definir o meio-dia e assim a duração do dia (ver Fig.9.1). Esta definição é de facto baseada numa média observada durante vários anos. Fala-se neste contexto do *Sol médio*. Duas passagens consecutivas do Sol médio pelo antimeridiano do local definem o começo e o fim do período de 24 horas do *dia civil* e a hora do *Tempo Médio Local* (= TML = LMT = “Local Mean Time”). Com esta definição, dois lugares situados no mesmo meridiano têm o mesmo TML, e dois lugares com longitudes diferentes têm os TML diferentes. Na navegação, o TML é utilizado principalmente para extrair os tempos do nascer e do pôr do Sol de um dado lugar das tabelas do *Air Almanac*. O TMC só por si não pode ser usado para definir a hora de um país, pois varia continuamente com a longitude. Para calcular esta variação observamos o seguinte. O Sol aparente descreve um círculo de  $360^{\circ}$  em 24 horas, a uma hora corresponde então uma variação em longitude de  $15^{\circ}$  ( $15 \times 24 = 360$ ). Da maneira correspondente, um minuto de tempo corresponde a  $15'$  de arco.

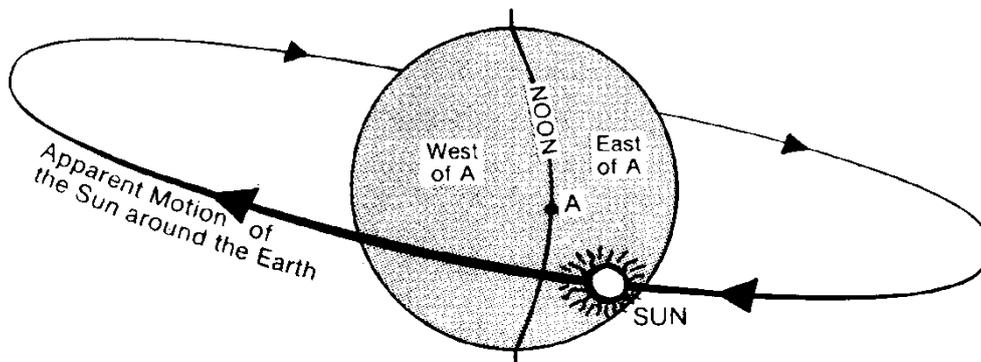


Fig. 9.1 - Movimento aparente do Sol.

variação do tempo	variação em longitude
1 hr	$15^{\circ}$
1 min	$15'$
1 seg	$15''$

O sentido do movimento aparente do Sol é de Este para Oeste, por isso o TML aumenta para o Este e diminui para o Oeste.

Exemplo: Sendo meio-dia no meridiano de Greenwich, qual é o TML na longitude  $140^{\circ}45'E$ ? Uma maneira rápida é converter a longitude em minutos de arco. Dividindo por 15 o resultado será em minutos de tempo: Diferença em longitude =  $(140 \times 60 + 45)' = 8445'$ . Diferença no tempo =

$(8445/15) \text{ min} = 563 \text{ min}$ , isto é, 9h23min. No local dado o TML é 9h23min mais tarde, o que corresponde a 21h23.

O tempo mais curto utilizado na navegação aérea é o minuto, e o tempo é indicado por um número de quatro algarismos entre 0000 (meia-noite do início do dia) e 2400 (meia-noite do fim do mesmo dia), inclusivé, com os dois primeiros a indicar a hora e os dois últimos os minutos. Às vezes é também necessário indicar o dia do mês, por exemplo nos boletins de previsão meteorológica. Nestes casos, indica-se um número de seis algarismos, com os primeiros a indicar o dia.

Exemplo: 082400 e 090000 indicam o mesmo instante, isto é, meia-noite na passagem do dia 8 para o dia 9 do mês corrente.

O Tempo Universal ou *UTC* (“co-ordinated universal time”, antigamente chamado GMT = “Greenwich Mean Time”, tempo médio de Greenwich) é definido como o TML do meridiano de Greenwich e é o tempo utilizado na aviação, para ter uma indicação inequívoca do tempo. Frequentemente é utilizada a sigla *Z* para identificar tempos UTC, por exemplo 1235Z para significar 12h35 UTC.

## 9.2 Fusos horários e linha de mudança de data

Não é conveniente ter-se uma definição de hora que varie continuamente com a longitude como no caso da TML. Por isso optou-se pela divisão em 24 zonas de tempo ou *fusos horários*. Uma zona de um fuso horário é definida pelo TML do meridiano de referência e o tempo de um fuso horário chama-se *tempo local da zona TLZ* (não confundir com o TML). Os meridianos de referência são os meridianos divisíveis por 15, isto é, os meridianos 000, 015, 030 etc. até 180 E ou W. Em princípio, um fuso horário compreende uma zona de longitude de  $7^{\circ}30'$  a leste até  $7^{\circ}30'$  a oeste do meridiano de referência (Fig. 9.2). Na prática, os limites das zonas não seguem muitas vezes os meridianos, são desviados para seguir fronteiras ou para não cortar cidades etc.. A passagem de uma zona para a zona adjacente corresponde à mudança de uma hora. No entanto, há zonas com horários que não correspondem a este esquema. A hora aumenta indo para E e diminui para W. Na Fig. 9.2 o sinal adoptado vem do cálculo oposto: A zona denominada -10 chama-se assim porque temos de subtrair 10 horas do TLZ para obter o UTC. O tempo local pode ser sujeito ainda à *hora de verão*; durante parte do ano o tempo local é avançado por uma hora.

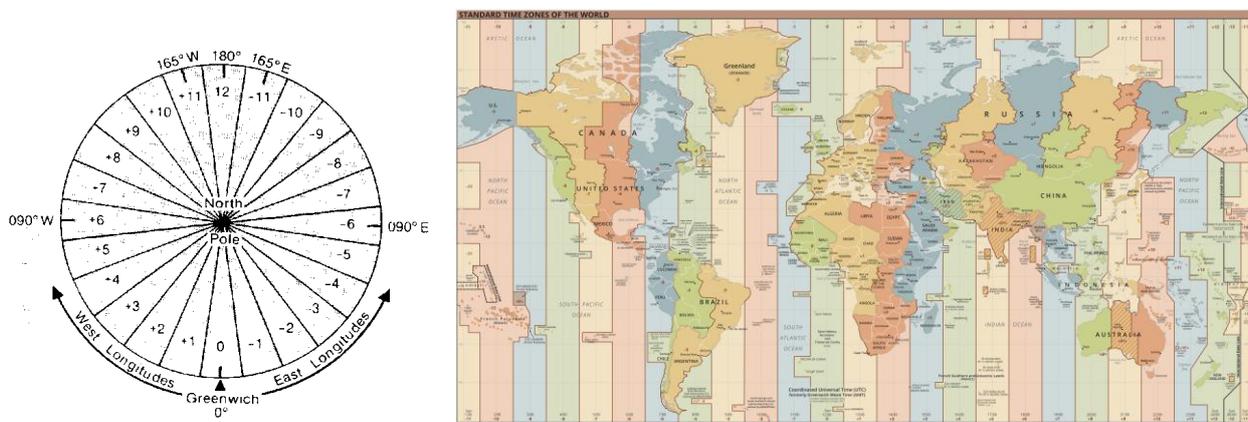


Fig. 9.2 - Fusos horários idealizados (à esquerda) e reais (à direita).

Exemplo: Actualmente temos em Portugal o TLZ igual ao UTC no inverno, e 1 hora mais no verão. Um piloto que pretende descolar no verão de Coimbra às 15h30 (hora local) comunica este

facto aos serviços de tráfego aéreo como ETD 1430. A intenção de descolar às 9h10 (hora local) no inverno é comunicada como ETD 0910.

Como se vê na Fig. 9.2, a zona do meridiano 180 põe um problema adicional: ali são mais 12 horas que o UTC ou menos 12 horas? Supomos que temos UTC 281300. Indo para o Oeste, o TLZ do meridiano 180 é  $281300 - 1200 = 280100$ . Indo para o Este temos  $281300 + 1200 = 290100$ , isto é, um dia mais tarde. Para ter em conta este facto e para definir um ponto de partida definiu-se a *linha de mudança de data*, baseada no meridiano 180, que subdivide a zona do meridiano 180 em duas partes, -12 e +12. Como no caso dos fusos horários, esta linha nem sempre segue exactamente o meridiano 180, ver Fig. 9.3. Atravessando a linha de mudança de data no sentido Este diminui a data por um dia, no sentido Oeste aumenta a data por um dia.

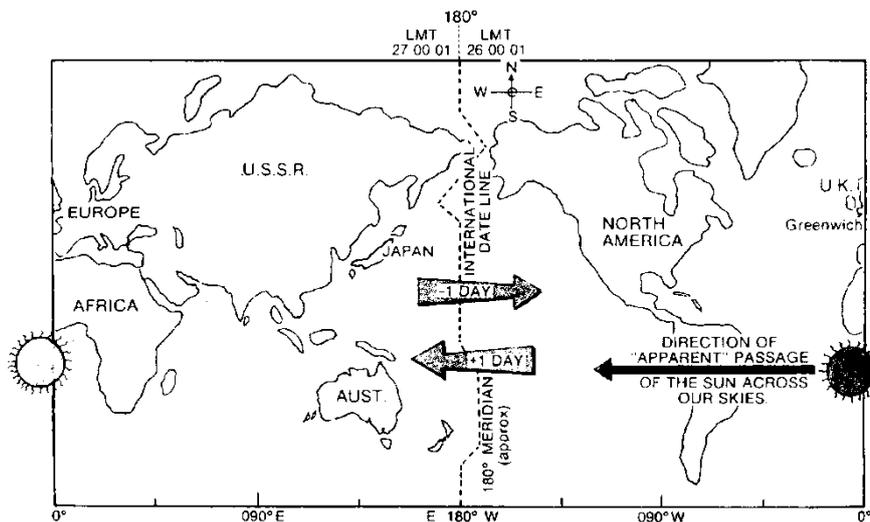


Fig. 9.3 - Linha de mudança de data.

Exemplo: Viajando no sentido Este, o TLZ 262213 passa a ser no momento da passagem da linha de mudança de data TLZ 252213. Isto é consistente com o cálculo de conversão para o UTC: antes da passagem, estamos na zona -12 e temos  $UTC = 262213 - 1200 = 261013$ . Depois da passagem estamos na zona +12 e temos  $UTC = 252213 + 1200 = 261013$  também.

### 9.3 Nascer e pôr do Sol

Dado o facto que o eixo de rotação da Terra é inclinado em relação ao plano da órbita da Terra à volta do Sol (ver Fig. 9.4), a linha na superfície da Terra que separa dia e noite não é, em geral, paralela aos meridianos (Fig. 9.5). Isto faz depender a hora do nascimento e ocaso do Sol ao longo do meridiano. O movimento orbital da Terra altera o ângulo dos raios solares no decurso do ano. Este efeito é, por um lado, responsável pelas estações do ano, porque faz variar a quantidade de raios solares recebida num lugar. Por outro lado, este efeito produz noites mais longas no inverno e noites mais curtas no verão. Verifica-se que no caso extremo dos polos o Sol não nasce no inverno e não se põe no verão; por outro lado, no equador a variação da duração da noite é mínima. A altitude também altera a duração da noite. Pode-se calcular que à altitude de  $30\ 000'$  o horizonte visível fica cerca de  $3^0$  abaixo do horizonte normal.

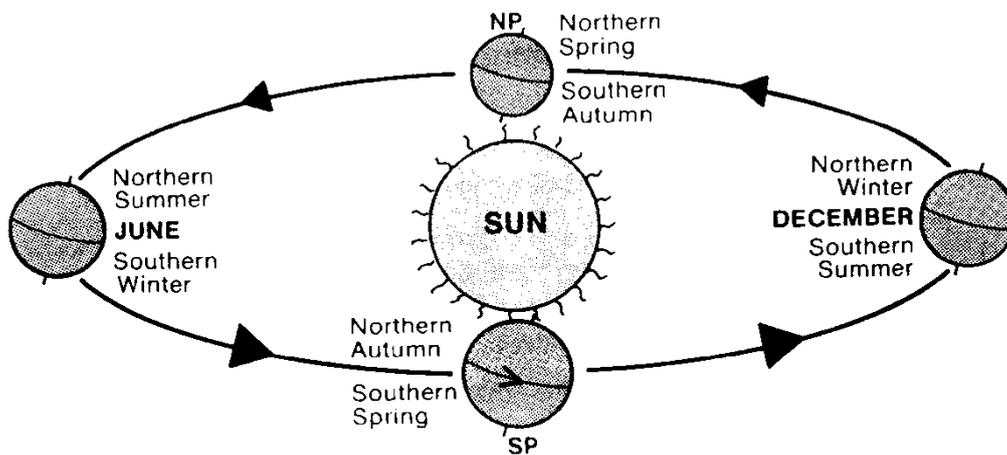


Fig. 9.4 - A órbita da Terra a volta do Sol.



Fig. 9.5 - Dia e noite.

À noite a visibilidade é obviamente reduzida e por isso o piloto tem grande interesse em conhecer as horas do nascer e pôr do Sol. A definição exacta do nascer do Sol coincide com o momento da passagem do bordo superior do Sol pelo horizonte, e correspondentemente para o pôr do Sol. O *Air Almanac* contém uma listagem dos TML do nascer e pôr do Sol em várias latitudes e para várias alturas do ano. Para extrair o TML do pôr do Sol numa latitude e num dia não listado faz-se uma interpolação. Obviamente, estas tabelas não contemplam o pôr do Sol visível “premature” devido à existência de obstáculos, montanhas ou nuvens na direcção do Sol, por isso seria extremamente imprudente de planear um voo VFR sem margem de segurança.

Exemplo: Utilizando a tabela na Fig. 9.6, achar o nascer do Sol TML e UTC no lugar N33°20' E126°36' no dia 01 de Setembro do ano da tabela. Por interpolação, temos o TML 010534. Para converter em UTC podemos fazer o cálculo descrito antes ou recorrer à tabela de conversão no *Air Almanac* (Fig. 9.7). Lê-se na tabela que 126° correspondem a 8h24min e 36' a 2min24seg, isto é, 126°36'E corresponde a UTC = TML - 0826 = 312108 (menos, por ser E).

**SUNRISE**

Lat.	Aug.					September					October					Lat.
	30	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	2	5	8	11	
N 72	03 30	04 05	04 19	04 34	04 48	05 01	05 13	05 28	05 42	05 55	06 09	06 22	06 36	06 50	07 04	N 72
70	04 05	18 31	43 04	55 35	57 19	58 10	58 43	59 09	59 31	59 48	59 59	60 06	60 10	60 12	60 13	70
68	15 29	40 50	05 01	12 22	33 44	54 05	15 26	33 44	54 05	15 26	33 44	54 05	15 26	33 44	54 05	68
66	27 37	47 04	57 00	10 25	33 44	54 05	15 26	33 44	54 05	15 26	33 44	54 05	15 26	33 44	54 05	66
64	39 45	53 05	02 11	19 28	36 45	53 02	11 19	28 36	45 53	02 11	19 28	36 45	53 02	11 19	28 36	64
62	43 51	04 59	07 14	22 30	38 45	53 01	09 17	25 33	48 48	01 09	17 25	33 48	48 01	09 17	25 33	62
N 60	04 49	04 50	05 04	05 11	05 18	05 25	05 32	05 39	05 46	05 53	06 00	06 07	06 14	06 21	06 29	N 60
58	04 55	05 01	05 08	14 21	27 32	31 40	34 40	37 40	40 40	43 40	46 40	49 40	52 40	55 40	58 40	58
56	05 00	00 11	17 23	29 35	41 46	52 58	04 10	15 22	26 34	37 46	48 58	60 10	71 22	82 34	93 46	56
54	04 09	15 20	25 31	36 41	47 52	58 03	09 14	20 25	31 36	42 47	53 58	65 09	76 20	87 31	98 42	54
52	08 13	18 22	27 32	37 42	47 52	57 02	07 12	17 22	27 32	37 42	47 52	57 02	07 12	17 22	27 32	52
N 50	05 12	05 16	05 20	05 25	05 29	05 34	05 39	05 43	05 47	05 52	05 56	06 01	06 06	06 10	06 15	N 50
45	19 23	20 30	33 37	41 44	44 43	47 42	50 41	53 40	56 39	59 38	02 37	05 36	08 35	11 34	14 33	45
40	24 28	31 34	37 40	42 45	48 51	54 57	00 00	03 03	06 06	09 09	12 12	15 15	18 18	21 21	24 24	40
35	31 33	35 37	39 42	44 46	49 51	54 56	00 01	03 05	06 09	09 13	12 17	15 21	18 25	21 29	24 33	35
N 30	36 37	39 39	41 42	44 45	47 46	50 45	53 44	56 43	59 42	02 41	05 40	08 39	11 38	14 37	17 36	N 30
N 20	05 44	05 44	05 45	05 46	05 47	05 48	05 48	05 49	05 50	05 51	05 51	05 52	05 53	05 53	05 53	N 20
N 10	05 57	05 56	05 55	54 53	52 51	50 49	48 47	46 45	44 43	42 41	40 39	38 37	36 35	34 33	32 31	N 10
S 10	06 04	06 04	06 00	05 58	05 57	55 53	53 51	51 49	49 47	47 45	45 44	43 42	41 40	39 39	37 38	S 10
S 20	10 08	08 05	06 03	06 00	05 57	54 53	51 49	49 47	47 45	45 44	43 42	41 40	39 39	37 38	35 36	S 20
S 30	06 18	06 14	06 11	06 07	06 04	06 00	05 56	05 51	05 49	05 47	05 45	05 44	05 43	05 42	05 41	S 30
35	22 18	14 10	06 01	00 00	05 56	05 51	05 49	05 47	05 45	05 44	05 43	05 42	05 41	05 40	05 39	35
40	--	--	--	--	03 55	46 38	29 21	12 04	55 58	--	--	--	--	--	--	40
45	00 39	06 49	06 40	06 31	06 22	06 13	06 04	05 55	05 46	05 37	05 28	05 18	05 09	05 00	04 51	45

**SUNSET**

Lat.	Aug.					September					October					Lat.
	30	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	2	5	8	11	
N 72	20 08	19 31	19 35	19 19	19 03	18 47	18 32	18 16	18 01	17 45	17 30	17 15	16 59	16 44	16 28	N 72
70	19 53	39 24	10 18	56 42	28 14	18 00	49 32	18 17	05 31	37 70	22 09	16 57	11 44	6 31	70	
68	41 28	15 19	53 50	37 24	12 17	56 47	34 22	10 50	47 16	24 13	17 02	9 50	2 38	66		
66	32 20	08 18	56 05	33 22	10 50	47 16	24 13	17 02	9 50	2 38	66					
64	23 13	19 02	52 41	30 20	09 58	48 37	27 15	06 16	55 64	29 19	04 17	00 62	64			
62	16 07	18 57	47 37	27 18	08 58	48 38	29 19	04 17	00 62	64						
N 60	19 10	19 01	18 52	18 43	18 34	18 25	18 16	18 07	17 58	17 49	17 40	17 31	17 22	17 13	17 04	N 60
58	05 18	57 48	40 31	23 14	06 57	49 41	34 26	18 10	56	41 36	26 18	10 56	56			
56	19 00	53 45	37 29	21 13	05 57	49 41	34 26	18 10	56	41 36	26 18	10 56	56			
54	18 50	49 42	34 27	19 12	04 57	49 42	35 27	20 13	54	52	46 39	32 15	52			
52	52 46	39 32	25 18	11 04	57 50	43 36	29 22	15 52	52							
N 50	18 49	18 43	18 36	18 30	18 23	18 16	18 10	18 03	17 57	17 50	17 44	17 37	17 30	17 24	17 18	N 50
45	41 36	30 21	19 13	08 04	56 51	45 40	34 28	23 15	45							
40	35 31	20 21	16 11	06 01	50 51	40 41	30 32	27 40	40							
35	30 26	22 17	13 09	05 18	00 56	52 47	43 39	35 31	35							
30	25 22	18 14	11 07	03 17	59 59	52 48	45 41	38 34	30							
N 20	18 17	18 15	18 12	18 00	18 07	18 04	18 01	17 58	17 56	17 53	17 50	17 48	17 45	17 42	17 40	N 20
N 10	18 10	09 07	05 03	18 01	17 59	17 57	17 55	17 54	17 53	17 52	17 51	17 50	17 49	17 48	17 47	N 10
S 10	17 58	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	17 57	S 10
S 20	17 44	17 45	17 47	17 49	17 50	17 52	17 53	17 55	17 57	17 58	18 00	18 02	18 03	18 05	18 07	S 20
35	40 42	44 49	48 56	53 03	57 10	61 17	65 24	69 31	73 38	77 45	81 52	85 59	89 66	93 73	97 80	35
40	35 38	40 43	46 49	52 55	59 01	65 07	71 13	77 19	83 25	89 31	95 37	101 43	107 49	113 55	119 61	40
45	29 31	36 36	43 41	50 46	57 51	64 56	71 61	78 66	85 71	92 76	99 81	106 86	113 91	120 96	127 101	45

Fig 9.6 - Exemplo de tabelas do nascer e do pôr do Sol.

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

Os serviços aeronáuticos e o GPS dão também a informação do nascer e pôr do Sol, evitando assim o uso de um Air Almanac actual.

Os voos VFR normais só devem ser efectuados no periodo entre os *crepúsculos civís* matinal (“dawn”) e nocturno (“dusk”). Existem várias definições de crepúsculo, de acordo com o ângulo do centro do Sol abaixo do horizonte. O crepúsculo começa de manhã ou termina à noite quando o centro do Sol está abaixo do horizonte num dado ângulo. O valor deste ângulo define o *crepúsculo civil*, o *crepúsculo marítimo* e o *crepúsculo astronómico* (Fig.9.8):

nome	ângulo
crepúsculo civil	6°
crepúsculo marítimo	12°
crepúsculo astronómico	18°

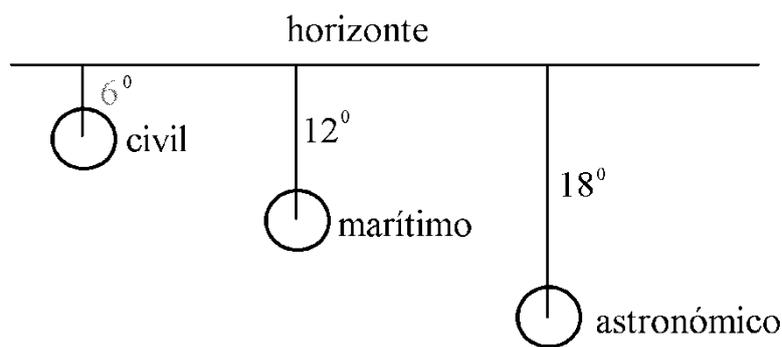


Fig. 9.8 - Definições de crepúsculos.

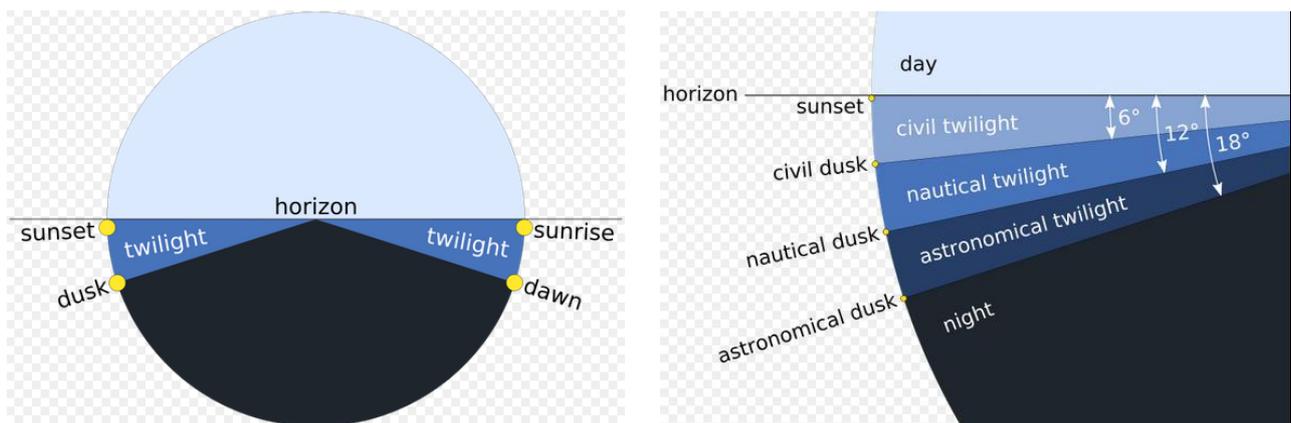


Fig. 9.9 – Conceitos relativos aos crepúsculos, em inglês.

A duração do crepúsculo depende do ângulo entre a trajectória aparente do Sol e o horizonte. É portanto maior nas grandes latitudes que no Equador. Os TML correspondentes aos crepúsculos civís são tabulados também no Air Almanac, e o uso das tabelas corresponde ao caso do nascer e pôr do Sol.

SUNRISE / SUNSET TABLES

PORTO - LPPR									
LAT: 41 14 08N LONG: 008 40 41W									
UTC									
DATE	TWILIGHT FROM	SR	SS	TWILIGHT TO	DATE	TWILIGHT FROM	SR	SS	TWILIGHT TO
2016 Jan 1	07:29	08:00	17:16	17:47	2016 Jul 3	04:33	05:07	20:11	20:45
2016 Jan 5	07:30	08:00	17:19	17:50	2016 Jul 7	04:36	05:09	20:10	20:43
2016 Jan 9	07:29	08:00	17:23	17:54	2016 Jul 11	04:39	05:12	20:08	20:41
2016 Jan 13	07:29	07:59	17:28	17:58	2016 Jul 15	04:42	05:15	20:06	20:39
2016 Jan 17	07:27	07:57	17:32	18:02	2016 Jul 19	04:46	05:18	20:03	20:35
2016 Jan 21	07:25	07:55	17:37	18:07	2016 Jul 23	04:50	05:22	20:00	20:32
2016 Jan 25	07:23	07:53	17:42	18:11	2016 Jul 27	04:54	05:26	19:56	20:28
2016 Jan 29	07:20	07:49	17:47	18:16	2016 Jul 31	04:58	05:29	19:52	20:23
2016 Feb 2	07:16	07:45	17:52	18:21	2016 Aug 4	05:03	05:33	19:48	20:18
2016 Feb 6	07:12	07:41	17:57	18:26	2016 Aug 8	05:07	05:37	19:43	20:13
2016 Feb 10	07:08	07:37	18:02	18:30	2016 Aug 12	05:11	05:41	19:37	20:07
2016 Feb 14	07:03	07:32	18:07	18:35	2016 Aug 16	05:16	05:45	19:32	20:01
2016 Feb 18	06:58	07:26	18:12	18:40	2016 Aug 20	05:20	05:49	19:26	19:55
2016 Feb 22	06:53	07:21	18:16	18:44	2016 Aug 24	05:25	05:53	19:20	19:49
2016 Feb 26	06:47	07:15	18:21	18:49	2016 Aug 28	05:29	05:57	19:13	19:42
2016 Mar 1	06:41	07:09	18:26	18:54	2016 Sep 1	05:33	06:01	19:07	19:35
2016 Mar 5	06:35	07:02	18:31	18:58	2016 Sep 5	05:37	06:05	19:00	19:28
2016 Mar 9	06:28	06:56	18:35	19:03	2016 Sep 9	05:42	06:09	18:54	19:21
2016 Mar 13	06:22	06:49	18:40	19:07	2016 Sep 13	05:46	06:13	18:47	19:14
2016 Mar 17	06:15	06:43	18:44	19:11	2016 Sep 17	05:50	06:17	18:40	19:07
2016 Mar 21	06:08	06:36	18:48	19:16	2016 Sep 21	05:54	06:21	18:33	19:01
2016 Mar 25	06:02	06:29	18:53	19:20	2016 Sep 25	05:58	06:26	18:26	18:54
2016 Mar 29	05:55	06:22	18:57	19:25	2016 Sep 29	06:02	06:30	18:19	18:47
2016 Apr 2	05:48	06:16	19:01	19:29	2016 Oct 3	06:06	06:34	18:13	18:40
2016 Apr 6	05:41	06:09	19:06	19:34	2016 Oct 7	06:10	06:38	18:06	18:34
2016 Apr 10	05:34	06:03	19:10	19:38	2016 Oct 11	06:15	06:42	18:00	18:27
2016 Apr 14	05:28	05:56	19:14	19:43	2016 Oct 15	06:19	06:47	17:53	18:21
2016 Apr 18	05:21	05:50	19:18	19:47	2016 Oct 19	06:23	06:51	17:47	18:15
2016 Apr 22	05:15	05:44	19:23	19:52	2016 Oct 23	06:28	06:56	17:42	18:10
2016 Apr 26	05:09	05:39	19:27	19:57	2016 Oct 27	06:32	07:00	17:36	18:04
2016 Apr 30	05:03	05:33	19:31	20:01	2016 Oct 31	06:37	07:05	17:31	18:00
2016 May 4	04:58	05:28	19:35	20:06	2016 Nov 4	06:41	07:10	17:26	17:55
2016 May 8	04:53	05:23	19:40	20:10	2016 Nov 8	06:46	07:15	17:22	17:51
2016 May 12	04:48	05:19	19:44	20:15	2016 Nov 12	06:50	07:20	17:18	17:47
2016 May 16	04:44	05:15	19:48	20:19	2016 Nov 16	06:55	07:24	17:14	17:44
2016 May 20	04:40	05:12	19:52	20:24	2016 Nov 20	06:59	07:29	17:11	17:41
2016 May 24	04:36	05:09	19:55	20:28	2016 Nov 24	07:03	07:34	17:09	17:39
2016 May 28	04:33	05:06	19:58	20:31	2016 Nov 28	07:07	07:38	17:07	17:38
2016 Jun 1	04:31	05:04	20:02	20:35	2016 Dec 2	07:11	07:42	17:06	17:37
2016 Jun 5	04:29	05:03	20:04	20:38	2016 Dec 6	07:15	07:46	17:06	17:37
2016 Jun 9	04:28	05:02	20:07	20:40	2016 Dec 10	07:19	07:50	17:06	17:37
2016 Jun 13	04:27	05:01	20:09	20:42	2016 Dec 14	07:22	07:53	17:06	17:38
2016 Jun 17	04:28	05:01	20:10	20:44	2016 Dec 18	07:24	07:55	17:08	17:39
2016 Jun 21	04:28	05:02	20:11	20:45	2016 Dec 22	07:26	07:58	17:10	17:41
2016 Jun 25	04:29	05:03	20:12	20:46	2016 Dec 26	07:28	07:59	17:12	17:43
2016 Jun 29	04:31	05:05	20:12	20:45	2016 Dec 30	07:29	08:00	17:15	17:46

Fig. 9.10 – Exemplo de tabela de nascimento e ocaso do sol e de crepúsculos.

## 10. Planeamento de voo

Existem muitas tarefas que o piloto em comando de uma aeronave tem de executar antes do voo para efectuar um voo seguro e eficiente. Tem de estudar vários aspectos da rota, as previsões do tempo, os aeródromos e procedimentos do tráfego aéreo. Tem também de calcular o combustível e óleo necessários, levar a *performance* do avião em consideração e garantir que este seja carregado de uma maneira segura. Um bom planeamento do voo reduz também as tarefas do piloto-navegador durante o voo. É obvio que o cockpit não é um bom sítio para traçar rotas e fazer cálculos, e este tipo de actividades desvia a atenção das tarefas principais de controlar o avião, seguir a rota, vigiar os instrumentos e observar outro tráfego.

No caso dos aeroclubes (como por exemplo no Aero Clube de Coimbra) temos de seguir os *procedimentos estabelecidos*.

### 10.1 Selecção e utilização de cartas e outras informações

Como discutido antes existem muitos tipos de cartas aeronáuticas para facilitar a navegação. Para voos VFR as mais importantes são

- as WAC de 1/500 000 (ou 1/1 000 000) a cobrir toda a rota incluindo uma margem de segurança de talvez 50 NM dos dois lados da rota e os aeródromos alternantes;
- as cartas de aeródromo, de obstáculos do aeródromo, de aproximação visual e eventualmente cartas de movimento e parqueamento no caso, por exemplo, de aeroportos;
- as cartas de rota *low level enroute charts*, que são úteis porque dão informações sobre rádio-ajudas e espaços aéreos.

As Fig. 10.1 e 10.2 mostram as cartas utilizadas no caso do aeródromo de Coimbra. Estas cartas vêm acompanhadas de informações sobre o aeródromo (Fig. 10.3). A Fig. 10.4 representa uma secção de uma carta de rota da região de Coimbra.

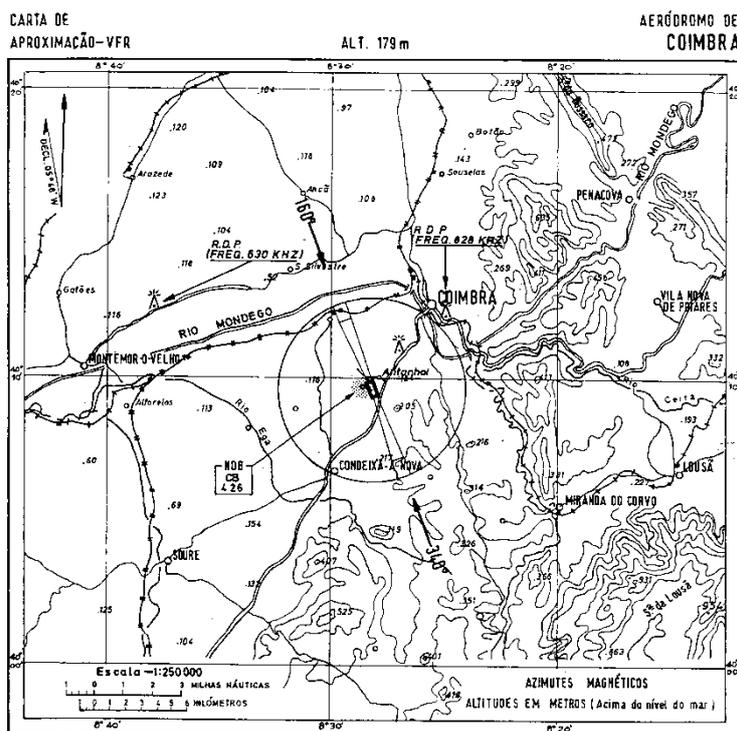


Fig. 10.1 - Carta de aproximação VFR.

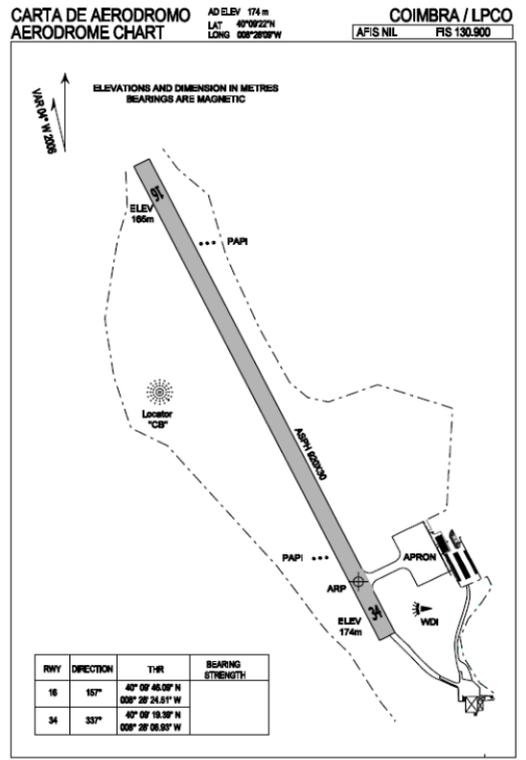
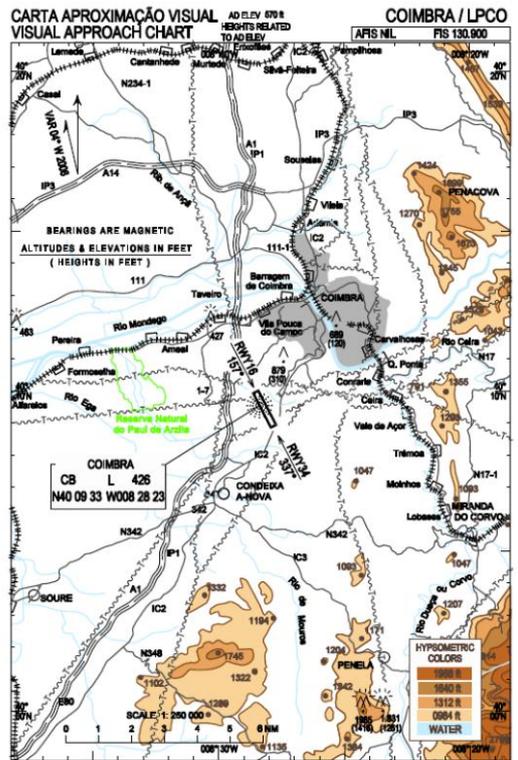


Fig. 10.2 - Carta de aproximação VFR e carta de aeródromo.

**COIMBRA AD**

**1 LOCALIZAÇÃO**  
 Cemache  
 7,5 km (4 NM) SW

**2 DADOS DE REFERÊNCIA AD**  
 LAT 40952N  
 LONG 008209W  
 Elevação: 174m/570FT  
 THR RWY 16 elevação: 165m  
 THR RWY 34 elevação: 174m  
 Temperatura média máxima: 20,7°C  
 Temperatura média mínima: 10,1°C  
 Nebulosidade anual (média): 6,1  
 Precipitação anual (média): 960mm  
 Vento predominante: NW  
 Declinação Mag: 03°53' W (2006)  
 Variação Anual: -9'

**3 ALTITUDE DE TRANSCRIÇÃO**

**4 TRÁFEGO AUTORIZADO**  
 VFR (MTOM = ou < 5700KG)  
 Operação de Ultraleves - SIM

**5 HORÁRIO DE OPERAÇÃO**  
 Aeródromo: SR/SS  
 Segurança: Sim 2000/0800 LMT

**6 ADMINISTRAÇÃO de AD**  
 Endereço:  
 Câmara Municipal de Coimbra  
 Praça 8 Maio  
 3000-300 Coimbra  
 Aeródromo Municipal Bissaya Barreto  
 3040-751 Coimbra  
 AD Tel: +351239947235  
 AD Fax: +351239946449  
 AD e-mail: lpc@cm-coimbra.pt

**1 LOCATION**  
 Cemache  
 7,5 km (4 NM) SW

**2 AD REFERENCE DATA**  
 LAT 40952N  
 LONG 008209W  
 Elevation: 174m/570FT  
 THR RWY 16 elevation: 165m  
 THR RWY 34 elevation: 174m  
 Max. temp (average): 20.7°C  
 Min. temp (average): 10.1°C  
 Annual Nebulosity (average): 6.1  
 Annual Precipitation (average): 960mm  
 Dominant Wind: NW  
 Mag.Var: 03°53' W (2006)  
 Annual change: -9'

**3 TRANSITION ALTITUDE**

**4 APPROVED TRAFFIC**  
 VFR (MTOM = or < 5700KG)  
 Ultralight operation - YES

**5 HOURS OF OPERATION**  
 Aerodrome: SR/SS  
 Security: Yes 2000/0800 LMT

**6 ADMINISTRATION**  
 Post:  
 Câmara Municipal de Coimbra  
 Praça 8 Maio  
 3000-300 Coimbra  
 Aeródromo Municipal Bissaya Barreto  
 3040-751 Coimbra  
 AD phone: +351239947235  
 AD Fax: +351239946449  
 AD e-mail: lpc@cm-coimbra.pt

AD Director Phone: +351 910301301  
 Maintenance (IAC):  
 Phone: +351239947618  
 Fax: +351213516695

**7 CUSTOMS**  
 Nil

**8 FUEL AND OIL**  
 AVGAS 100LL  
 1000-1230 e 1430-1830 LMT  
 Holidays and weekend  
 1000-1230 e 1430-1930 LMT  
 Winter - Refueling limited to SS  
 Aeroclube de Coimbra : +351239947214  
 Mobile: 919682551 or 963608954

**9 REPAIR FACILITIES**  
 Yes

**10 FIRE FIGHTING CATEGORY**  
 Nil

**11 LOCAL RESTRICTIONS**  
 Obstacles:  
 NDB antenna on Approach RWY34  
 elevation: 163m dist: 56cm from RWY  
 Trees protruding Approach surface  
 RWY16 / TKOF surface RWY 34  
 Windshear on approaches

**12 PROCEDURES**  
 Nil

**13 ADDITIONAL INFORMATION**  
 AFIS (Service not provided)  
 Freq: 122.900 MHz  
 Coverage: 15 NM  
 Emission Type: A3E  
 FIS Freq 130.900MHZ

**NDB (L): H24**  
 Freq: 426.00Khz  
 Coverage: 10 NM  
 Emission Type: NONIAZA  
 Identification: "CB" (400938N0082819W)

**Hangars:**  
 1- 440 m2 (22X20), Door height 4 m

**Hotels:** In Coimbra

**Restaurants:** In Coimbra and in the  
 aerodrome. (Closed at Monday)

**Railway Station:** Coimbra

**Health:** Coimbra

**Post Office:** Cemache

**Bank:** In Coimbra

**Transportation:** Taxi

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS / PHYSICAL CHARACTERISTICS						
RWY	Dimensões e pavimento Dimensions and surface	Resistência Strength	Distâncias Declaradas Declared Distances			
			TORA	TODA	ASDA	LDA
16	923X30		923	923	923	923
34	ASPH		923	923	923	923
Apron and TWY ASPH						

ILUMINAÇÃO / LIGHTING							
RWY	APCH	PAPI	THR	END	TDZ	RCL	EDGE
16		X	X	X			X
34		X	X	X			X
TWY and Apron lights							
Identification beacon (Ibn): Green flashes, ident: "CB"							

SURFACE MOVEMENT GUIDANCE AND MARKINGS						
ID SIGN	WDI	LDI	RWY MARKS	TDZ MARKS	RWY DESIGNATION	RCL
X	X Lighted		X		X	X

Fig.10.3 - Informações de aeródromo.

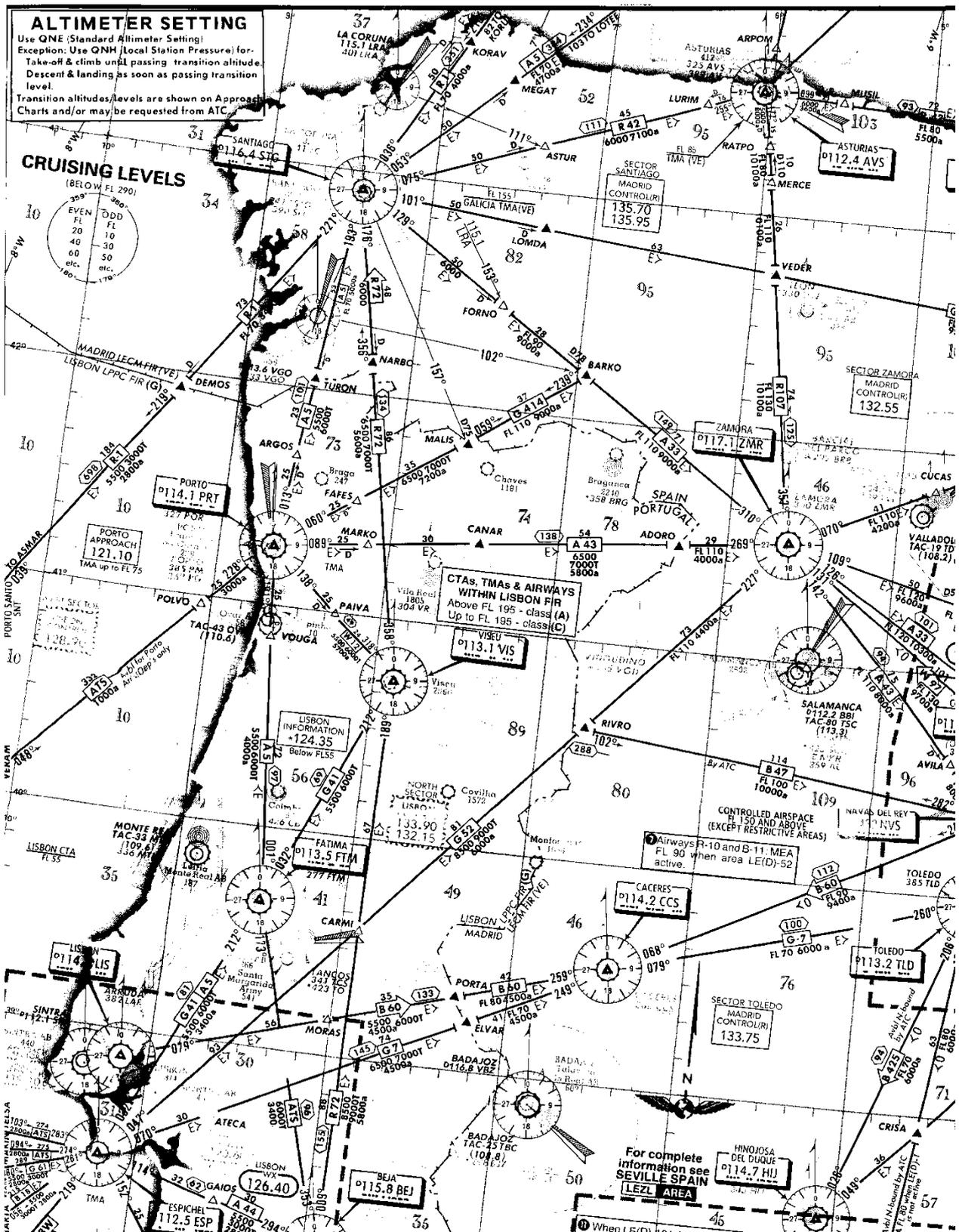


Fig.10.4 - Seção de uma carta de rota.

A rota é traçada na carta WAC. Como ajuda durante o voo é útil de colocar marcas cada 5 ou 10 NM ao longo da rota e apontar pontos do terreno característicos no *flight log* (discutido mais em adiante). Isto facilita depois o controle do seguimento da viagem. São escolhidos também os

*aeródromos alternantes* para prever o caso de não poder aterrar no destino por razões imprevistas, e traça-se a rota do destino planeado até à alternante.

A rota tem de ser ajustada de acordo com espaços aéreos restritos, proibidos ou perigosos. As informações actualizadas sobre estes espaços encontram-se nos AIP (“aeronautical information publications” que contêm informações aeronáuticas) e particularmente nos NOTAMs (“notice to airmen” ou “notice to air missions” que informam sobre alterações recentes). Estes contêm também eventuais alterações do funcionamento dos aeródromos e das suas facilidades. A Fig. 10.5 mostra um exemplo de um NOTAM.

## EN-ROUTE

### LPPC - LISBOA FIR

```
+ AIRAC EFFECTIVE DATE 26 JULY 2012 NIL.
  FROM: 26 JUL 2012 00:00   TO: 09 AUG 2012 23:59

* OPERATIONAL TRANSIT ROUTES, LOWER LEVEL CHANGED TO FL100 ON ALL
  ROUTES EXCEPT OTR-6. REF MIL AIP PAGE ENR 3.5-1, ITEM 3.5.1.2.
  FROM: 23 SEP 2011 15:35   TO: PERM

+ A) LPBG
  NEW DVOR/DME STATION LOCATED AT BRAGANCA IS NOW UNDER TEST.
  DO NOT USE.
  THE CHARACTERISTICS OF THE STATION ARE :
  IDENTIFICATION - BGN
  NAME - BRAGANCA
  VOR FREQUENCY - 115.700MHZ
  DME CHANNEL - 104X
  LOCATION - 414621.24N0064408.09W
  COVERAGE - 50NM
  DME ANTENNA ELEVATION - 823.6M
  FROM: 16 JUL 2012 09:49   TO: 16 OCT 2012 23:59 EST

+ OBSTACLE (AEROGENERATOR - WINDFLOAT) ERECTED OFFSHORE. POSITION
  412738.46N0085059.31W, HEIGHT 114M (374 FT) AMSL. OBSTACLE LIGHTED
  DAY (FLASHING WHITE) AND NIGHT (FIXED RED).
  FROM: 10 JUL 2012 15:30   TO: 05 OCT 2012 23:59 EST

+ AZURARA NAST OBSTACLE LIGHTS ESN 411955.6N0084304.7W
  ELEV 171M/HGT 140M OUT OF SERVICE.
  FROM: 12 JUL 2012 13:51   TO: 12 OCT 2012 23:59 EST

+ AEOLIC PARK MEROICINHA II, VILA REAL, ERECTED WITH 6 AEROGENERATORS
  WITHIN 1NM RADIUS CENTERED AT 4123N00745W MAX ELEVATION 1272M/HEIGHT
  125M. 4 AEROGENERATORS DAY SIGNALIZED WITH FLASHING WHITE LIGHTS AND
  NIGHT SIGNALIZED WITH FIXED RED LIGHTS.
  FROM: 19 JUN 2012 08:58   TO: PERM

** A) LPOV
  LP-R40A (OVAR CTR) AIRSPACE CLASSIFICATION CHANGED TO
  CLASS D. REF MIL AIP ENR 1.4 AND LPOV AD 2.17.
  FROM SFC UP TO 2000FT AMSL
  FROM: 12 JAN 2012 10:25   TO: PERM
```

## NAV WARNINGS

### LPPC - LISBOA FIR

```
+ AIR DISPLAY - REDBURROS FLY-IN 2012 - WILL TAKE PLACE WI AREA
  RADIUS 5NM CENTERED AT 412346N0064101W (MOGADOURO AD - LPMU).
  LOWER: GND
  UPPER: FL095
  FROM: 28 JUL 2012 05:18   TO: 28 JUL 2012 19:48
  SCHEDULE: SR-SS

+ EJE WILL TAKE PLACE WI RADIUS 5NM CENTERED AT 411627N0074308W (VILA
  REAL AD).
  LOWER: GND
  UPPER: FL090
  FROM: 07 JUL 2012 05:05   TO: 10 OCT 2012 17:58
  SCHEDULE: SAT SUN SR-SS , AUG 15 SR-SS , OCT 05 SR-SS

+ EJE WILL TAKE PLACE 3NM RADIUS AROUND 395308N0083902W (CASALINHO -
  FOMDAL).
  LOWER: GND
  UPPER: FL090
  FROM: 05 JUN 2012 13:48   TO: 13 SEP 2012 18:46
  SCHEDULE: DAILY SR-SS

+ EJE WILL TAKE PLACE WITHIN RADIUS 5NM CENTERED AT 394352N0075229W
  (PROENÇA-A-NOVA AD). ACTIVITY ABOVE FL090 WILL TAKE PLACE ONLY AFTER
  COORDINATION WITH LISBON ON ROUTE SECTOR THROUGH LISBOA MIL.
  LOWER: GND
  UPPER: FL140
  FROM: 10 JUL 2012 05:12   TO: 10 OCT 2012 17:59
  SCHEDULE: DAILY SR-SS

+ PARACHUTE JUMPING EXERCISES WILL TAKE PLACE AREA 5KM RADIUS
  CENTERED AT 392831N0082221W - TANCOS.
  LOWER: GND
  UPPER: 12000FT AMSL
  FROM: 07 JUL 2012 08:00   TO: 07 OCT 2012 18:06
  SCHEDULE: JUL 07 08 14 15 21 22 28 29 AUG 04 05 11 12 15 18 19 25 26
  02 08 09 15 16 22 23 29 30 OCT 05 06 07 0800-SS
```

Fig. 10.5 - Exemplo de um NOTAM.

Da carta de navegação obtém-se a informação das elevações do terreno e de acordo com os mínimos de voos VFR são determinadas as *altitudes mínimas de segurança*, somando as *alturas mínimas*,

- 500’ para voos acima do terreno (ou água),
- 1000’ para voos acima do obstáculo mais alto num raio de 600m da aeronave, sobre cidades etc..

Procura-se então as elevações máximas ao longo da rota, num “corredor” de largura de segurança escolhida. Um valor razoável desta largura seria 5 ou 10 NM dos dois lados da rota, mas o mínimo requerido pelas regras de voo VFR é 1,5 km dos dois lados da rota. A indicação das elevações máximas dentro dos rectângulos da carta de navegação facilita o trabalho. Ao valor da elevação máxima encontrada no “corredor” soma-se a altitude mínima (500’ ou 1000’, respectivamente). Depois ajusta-se a altitude de cruzeiro, *para cima*, de acordo com a seguinte regra.

Em Portugal, no caso de voos acima de 3000’ de altura (acima do terreno), ou acima de um outro limite especificado pela autoridade ATS (Air Traffic Service), deve-se seguir em *níveis de voo VFR semicirculares*:

- nos caminhos magnéticos 090 até 269, em níveis de milhares de pés ímpares mais 500', isto é, FL35, FL55, FL75 etc.,
- nos caminhos magnéticos 270 até 089, em níveis de milhares de pés pares mais 500', isto é, FL45, FL65, FL85 etc.

Esta regra é válida até FL285. Caso se tratar de voos abaixo da *altitude de transição*, utiliza-se as altitudes correspondentes em vez de níveis de voo, mas normalmente passa-se a níveis de voo acima dos 3000' de altura. O controle de tráfego aéreo pode indicar outros níveis de voo.

Note que na publicação reproduzida a seguir, *track* foi mal traduzido, é *caminho* e não *rumo*!

#### NÍVEIS DE VOO

Operando acima de 900m (3000ft) do terreno ou da água, os voos VFR devem cumprir com o nível de voo apropriado ao rumo magnético, conforme descrito na tabela de níveis de cruzeiro seguinte

#### FLIGHT LEVELS

When operating above 900m (3000ft) from the ground or water, VFR flights should be conducted at a flight level appropriate to the magnetic track as specified in the following table of cruising levels.

TABELA DE NÍVEIS DE CRUZEIRO / TABLE OF CRUISING LEVELS

RUMO MAGNÉTICO / MAGNETIC TRACK								
De 090° a 269° (Ímpares / Odd)				De 270° a 089° (Pares / Even)				
IFR		VFR		IFR		VFR		
FL	ALT		FL	ALT		FL	ALT	
	m	FT		m	FT		m	FT
						0		
10	300	1000	–	–	–	20	600	2000
30	900	3000	35	1050	3500	40	1200	4000
50	1500	5000	55	1700	5500	60	1850	6000
70	2150	7000	75	2300	7500	80	2450	8000
90	2750	9000	95	2900	9500	100	3050	10000
110	3350	11000	115	3500	11500	120	3650	12000
130	3950	13000	135	4100	13500	140	4250	14000
150	4550	15000	155	4700	15500	160	4900	16000
170	5200	17000	175	5350	17500	180	5500	18000
190	5800	19000	195	5950	19500	200	6100	20000

– AIS – PORTUGAL

MAY 2014

Em alguns países voa-se de acordo com um outro esquema, a *regra quadrantal*, noutros, como antigamente em Portugal, a regra semicircular é ímpar de 000 a 179 e par de 180 a 359.

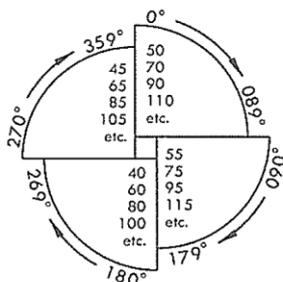
ECN EFFECTIVE 0001L 24 MAR 2022 ELECTRONIC ONLY

Consult NOTAMs and ECNs for latest information

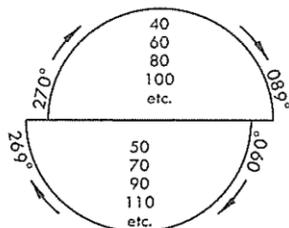
#### IFR CRUISING LEVELS

On airways and other routes, select IFR cruising levels as depicted on enroute charts. If cruising levels are not depicted, or if flight is conducted in other controlled or uncontrolled airspace, select cruising levels in accordance with the following diagrams. In controlled airspace ATC may assign cruising levels which do not conform with those shown in the diagrams.

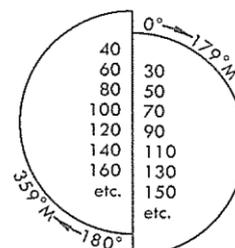
UNITED KINGDOM  
Below FL245 in uncontrolled airspace



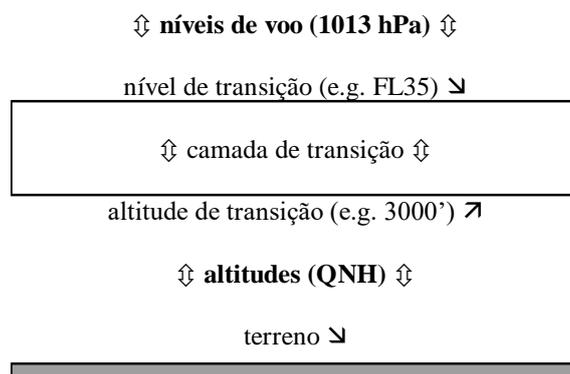
ISRAEL  
ITALY



Other Countries and  
Oceanic FIRs



A *altitude de transição* determina, na subida, a altitude a partir da qual a janela de Kollsman do altímetro deve ser ajustada para 1013 hPa, para então voar em níveis de voo. O *nível de transição* determina, na descida, o nível de voo a partir do qual se deve ajustar a janela de Kollsman para o QNH e então voar em altitudes:



Como o altímetro com ajuste a 1013 hPa não indica, em geral, altitudes correctas, seria perigoso utilizar níveis de voo em voos baixos em relação ao terreno. Por isso, a altitude de transição depende da região. Em grande parte do Reino Unido, por exemplo, esta altitude é só 3000' acima do nível médio do mar porque a elevação do terreno é baixa. Nos EUA a altitude de transição pode atingir 18 000' em regiões de montanhas altas. Acima de Lisboa e do Porto é 4000', acima de Vila Real é 6000'.

Exemplo: Na proximidade da rota Viseu → Coimbra encontra-se a mais alta elevação na Serra de Caramulo, 3524'. Somamos 500' de segurança para obter 4024'. Sendo a rota no sector ímpar, o nível de voo mínimo de cruzeiro é 5500'. Se, no entanto, considerar um corredor de segurança mais estreito, a maior elevação é perto de Viseu, 2133'. Considerando este sítio povoado somamos 1000' para obter 3133', e o nível de voo mínimo de cruzeiro é 3500'.

Outro aspecto que tem de ser considerado no planeamento do voo é a duração do dia. Um voo VFR normal deve terminar antes da noite, com margem de segurança razoável (incluindo também um eventual desvio para um aeródromo alternante), e deve ser por isso consultada a informação da hora do pôr do Sol.

## 10.2 Informação meteorológica

Qualquer voo está condicionado pelo tempo e é imprescindível que o piloto estude toda a informação meteorológica disponível para a rota planeada. Devido às limitações dos voos VFR isto é particularmente importante. Escolha-se as cartas analíticas e de previsão mais adaptadas aos níveis de voo planeados, por exemplo cartas de superfície para voos baixos, cartas de 850 hPa para o FL050 (5000'), de 700 hPa para FL100 (10000') etc., e os METARs, TAFs e SIGMETs dos aeródromos de partida, em rota, chegada e alternantes. Assim pode obter o estado actual ou uma previsão das frentes, do tempo significativo (como trovoadas etc.), precipitação, visibilidade, nebulosidade, temperaturas e ventos. As previsões do vento servem também para o cálculo do rumo. Quem tem acesso à *Internet* através do computador pode obter aí informação meteorológica muito variada. Além disso é possível captar as estações que emitem o VOLMET durante o voo.

Exemplo de um METAR:  
082030 LPPT 082030Z 31011KT CAVOK 27/15 Q1019 NOSIG=



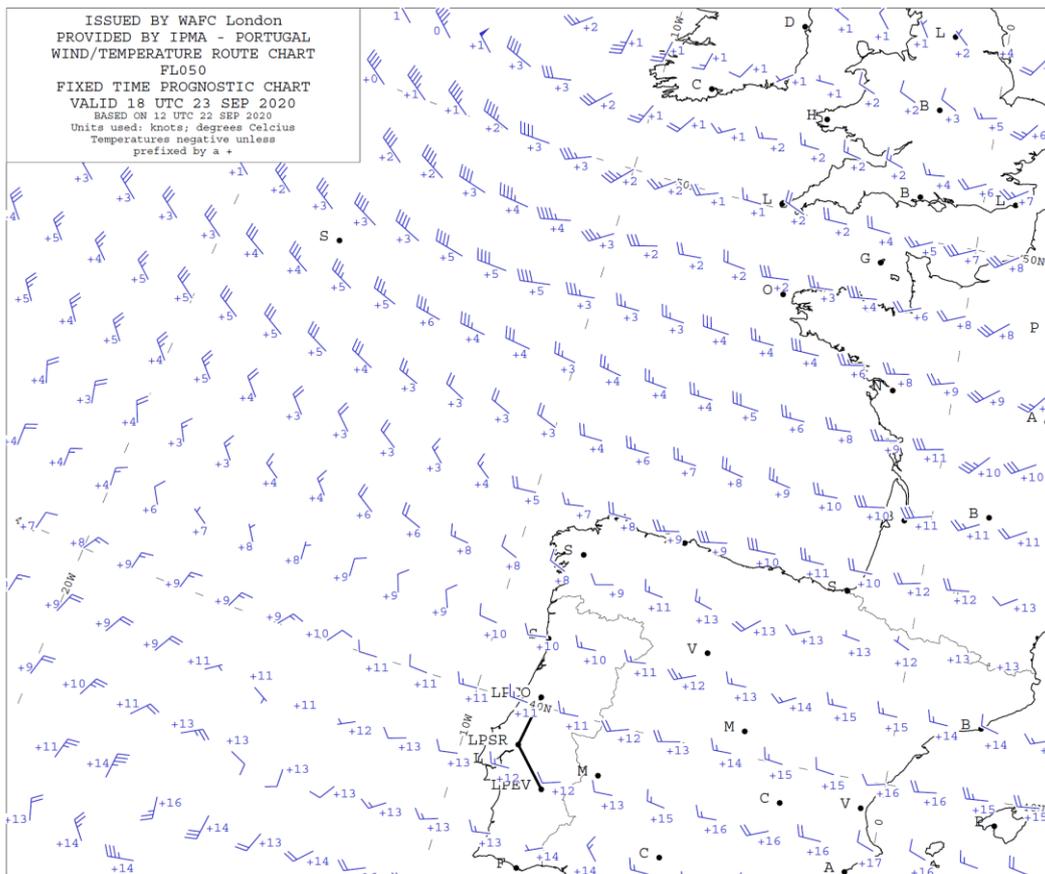


Fig. 10.7 - Exemplo de uma carta de ventos de superfície.

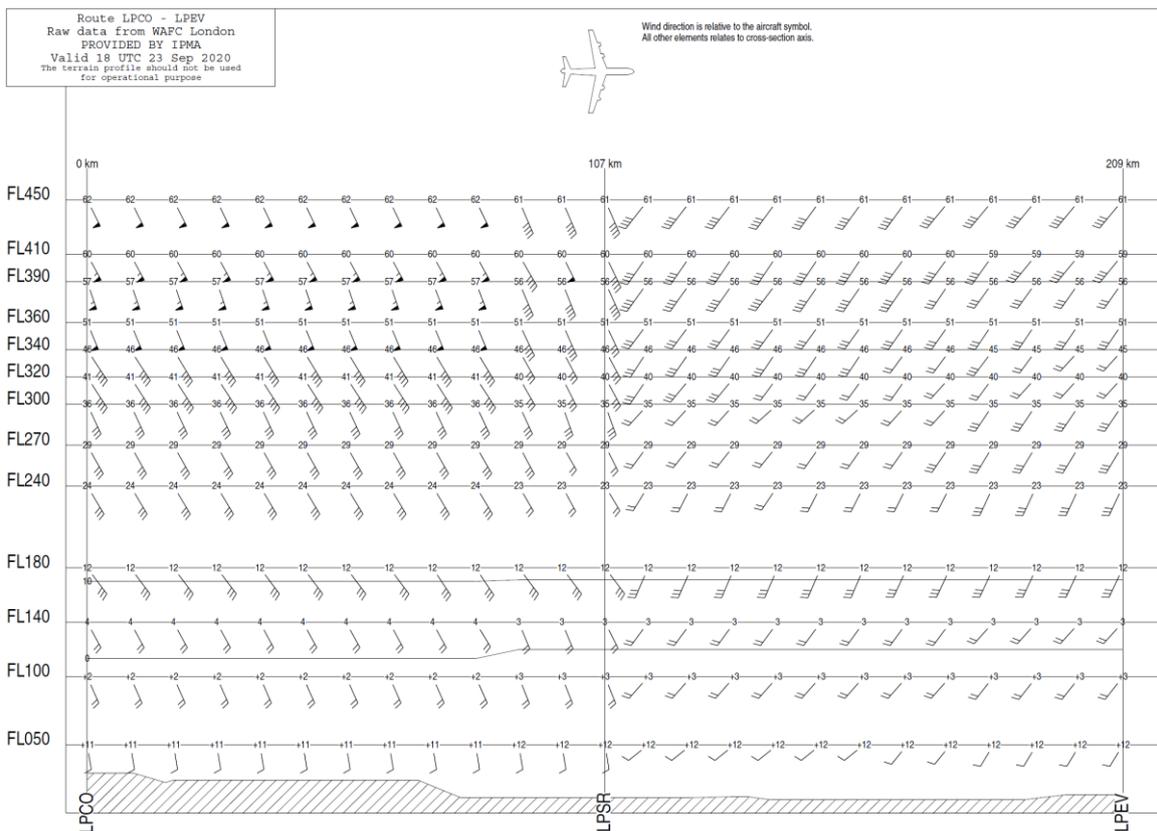


Fig. 10.8 – Exemplo de perfil de ventos em rota.



alternantes e em rota (ENROUTE). As frequências de comunicação dizem respeito aos aeródromos e ao controle de tráfego aéreo, e depende da fase do voo qual a frequência a utilizar. Um aeródromo pode por exemplo ter frequências separadas para a fase de aproximação (APP), aterragem (TWR) e movimento no chão (GND), e além disso providenciar informação automática (ATIS). Em rota, as frequências de interesse podem ser as do ATS (serviço de informação FIS, controle ACC, ou de submissão em voo do *flight plan*) e de informação meteorológica automática (VOLMET). As frequências das rádio-ajudas podem ser as das estações NDB ou rádioemissoras AM “normais” (de onda média ou longa) convenientemente localizadas, e as de estações VOR. As estações NDB e VOR são identificados pelo indicativo audível em código de Morse, aponta-se por isso esta informação.

Na parte FUEL indicamos, de acordo com o gasto horário do avião, o combustível necessário para chegar ao destino (TO DEST), à alternante mais afastada (TO ALTN), e uma reserva de segurança de *pele menos 45 minutos* (RESERVE) e somamos estas quantias para obter o TOTAL. O quadro ENDURANCE serve para apontar a quantidade de combustível e o tempo de voo correspondente à quantidade existente *de facto* nos depósitos do avião e deve obviamente corresponder pelo menos à quantidade no quadro TOTAL. Durante a inspecção dos 360 graus (“preflight inspection”) a quantia de combustível deve ser verificada. O cálculo de combustível tem de ter em conta as tabelas de *performance* do avião, como discutido mais em frente.

Os pormenores da rota são preenchidos na última parte do flight log (ROUTE). Na coluna FIX aponta-se os pontos de referência no terreno (fixos), mais ou menos cada 5 ou 10 milhas náuticas, que servem para controlar o caminho durante o voo. A cada um destes pontos corresponde a informação das frequências de comunicação e navegação (COM e NAV), do nível de voo ou altitude (FL/ALT), do caminho magnético (MAG CRS) e da velocidade terreno (GS), planeados na fase correspondente do voo. A rubrica INCR DIST serve para apontar as distâncias entre os fixos e em RMN DIST indicamos a distância total ainda a percorrer até ao destino (contagem decrescente), o que ajuda muito na comunicação com o controle de tráfego aéreo ou no uso de instrumentos de navegação como o GPS ou DME. Os tempos correspondentes às distâncias entre os fixos são inscritos em INCR EET, e SUM EET soma o tempo total a partir da descolagem; dada a hora de descolagem calcula-se o ETO ou ETA. Depois de planear a rota desta maneira indica-se também a informação para chegar ao(s) aeródromo(s) alternante(s), a partir do aeródromo de destino.

Temos ainda os espaços para apontar outras informações, já dentro do avião. A parte TIME Z (incluindo as indicações do contador horário HOUR METER) é preenchida no momento de ligar/desligar o(s) motor(es) (ENGINE ON/OFF) para efeitos de tempo de voo na caderneta de voo do piloto e da aeronave; o tempo de descolagem (TAKE OFF) serve para o cálculo do ETA, e TOUCH DOWN é o tempo de aterragem. Tudo é indicado em horários Zulu (UTC). Na parte DEP/ENR/ARR INFO temos os espaços para apontar a informação na partida/rota/chegada das pistas em uso, dos QNHs, dos ventos (W/V) e do ajuste do transponder, isto é do squawk (SQWK).

Um flight log bem preparado reduz significativamente as tarefas do piloto durante o voo. Como a informação pertinente é facilmente acessível, a atenção do piloto-navegador é pouco desviada. Isto é um factor de segurança importante.

Como outro exemplo de ficha de voo reproduz-se aqui o modelo utilizado no Aero Clube de Coimbra:

ESCOLA PILOTAGEM PPL(A) DO AERO CLUBE DE COIMBRA ANEXO D

Aircraft Ident.		Pilot.										Date.		
Clearance.														
Notes (restrictions, deviations, etc)														
Line	Block off.		Take-off.				Landing.				Block on.			ETA
	From	To	FL	OAT °C	Wind W/V	Track °T	Hdg °T	Hdg °M	TAS kt	GS	Dist. NGM	Time	Fuel Req'd GAL/LB	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10	Alternate										Trip Totals			
11														
12														
13		Fuel Month									Taxi Total			
14		Position	Time	Fuel RNG GAL/LB	Endurance	ETA Dest					5% Contingency Fuel			
15											45 min HLDG Fuel (Final Res.)			
16											Extra Fuel			
17											Total Required			
18											Total on Board			
19											Total endurance			

TAKEOFF DATA								
Runway	Trans.Alt.	Time	Wind/V	Visibility	Clouds	Temp.	QNH	QFE

LANDING DATA								
Runway	Trans.Alt.	Time	Wind/V	Visibility	Clouds	Temp.	QNH	QFE

COMMUNICATION								
Station	Ind.	Time	Wind/V	Visibility	Clouds	Temp.	QNH	QFE

Ajudas de Rádio				
Line	Radio AID	Ident.	Freq.	Fix

Remarks	O Instructor
---------	--------------

Revisão nº 1 Anexo D 05JUN2015

## 10.4 Considerações de performance

A performance do avião é principalmente determinada pela altitude densidade, porque é esta que afecta mais a operação do motor e o comportamento aerodinâmico do avião. Vários aspectos da operação da aeronave são por isso influenciados pela altitude pressão e pela temperatura (os dois factores que determinam a altitude densidade).

Consideremos primeiro o cálculo do combustível necessário para um voo. A Fig. 10.9 mostra uma tabela que indica, entre outros, o combustível gasto numa subida (de máxima razão de subida).

MODEL 152

### TIME, FUEL, AND DISTANCE TO CLIMB

#### MAXIMUM RATE OF CLIMB

CONDITIONS:  
Flaps Up  
Full Throttle  
Standard Temperature

NOTES:

1. Add 0.8 of a gallon of fuel for engine start, taxi and takeoff allowance.
2. Mixture leaned above 3000 feet for maximum RPM.
3. Increase time, fuel and distance by 10% for each 10°C above standard temperature.
4. Distances shown are based on zero wind.

WEIGHT LBS	PRESSURE ALTITUDE FT	TEMP °C	CLIMB SPEED KIAS	RATE OF CLIMB FPM	FROM SEA LEVEL		
					TIME MIN	FUEL USED GALLONS	DISTANCE NM
1670	S.L.	15	67	715	0	0	0
	1000	13	66	675	1	0.2	2
	2000	11	66	630	3	0.4	3
	3000	9	65	590	5	0.7	5
	4000	7	65	550	6	0.9	7
	5000	5	64	505	8	1.2	9
	6000	3	63	465	10	1.4	12
	7000	1	63	425	13	1.7	14
	8000	-1	62	380	15	2.0	17
	9000	-3	62	340	18	2.3	21
	10,000	-5	61	300	21	2.6	25
	11,000	-7	61	255	25	3.0	29
12,000	-9	60	215	29	3.4	34	

Fig. 10.9 - Tempo, combustível e distância para subir, Cessna 152.

Exemplo: A pista encontra-se a 2000' e a temperatura é 21°C. Qual é a quantidade gasta para subir até 6000'? Procurar na linha dos 6000' o gasto de 1.4 gal a partir do nível médio do mar ("from sea level"). Procurar na linha dos 2000' o gasto de 0.4 gal a partir do nível médio do mar. A diferença 1.4-0.4=1.0 dá o gasto da subida de 2000' até 6000'. Agora seguimos as notas 1 e 3: Somar 0.8 gal para arranque, rolagem, descolagem. Aumentar o resultado de 10% porque a temperatura é de 21°C em vez dos 11°C standard. Resposta: 2 gal.

O gasto em cruzeiro é lido na tabela de performance em cruzeiro, Fig. 10.10.

PRESSURE ALTITUDE FT	RPM	20°C BELOW STANDARD TEMP			STANDARD TEMPERATURE			20°C ABOVE STANDARD TEMP		
		% BHP	KTAS	GPH	% BHP	KTAS	GPH	% BHP	KTAS	GPH
2000	2400	---	---	---	77	102	6.3	73	101	6.0
	2300	73	97	6.0	69	97	5.7	66	96	5.4
	2200	65	93	5.4	62	92	5.1	58	91	4.9
	2100	58	88	4.9	55	87	4.7	52	85	4.5
	2000	51	82	4.5	48	81	4.3	45	79	4.2
4000	2450	---	---	---	78	104	6.4	74	103	6.0
	2400	78	102	6.4	74	101	6.0	70	101	5.8
	2300	70	97	5.8	66	97	5.5	62	96	5.2
	2200	62	92	5.2	59	91	4.9	55	90	4.7
	2100	55	87	4.7	52	86	4.5	49	84	4.4
6000	2500	---	---	---	78	106	6.4	74	105	6.1
	2400	75	101	6.1	70	101	5.8	66	100	5.5
	2300	67	97	5.5	63	96	5.2	59	95	5.0
	2200	59	91	5.0	56	90	4.7	53	89	4.6
	2100	53	86	4.6	49	84	4.4	47	82	4.3
8000	2550	---	---	---	78	108	6.4	74	107	6.1
	2500	79	106	6.4	74	105	6.1	70	105	5.8
	2400	71	101	5.8	67	100	5.5	63	99	5.2
	2300	64	96	5.3	60	95	5.0	56	94	4.8
	2200	57	91	4.8	53	89	4.6	50	87	4.4
10,000	2500	75	105	6.2	71	105	5.8	67	104	5.5
	2400	68	101	5.6	63	99	5.3	60	98	5.0
	2300	60	95	5.1	57	94	4.8	54	92	4.6
	2200	54	89	4.6	51	87	4.5	48	84	4.3
12,000	2450	68	102	5.6	64	101	5.3	60	100	5.0
	2400	64	100	5.3	60	98	5.0	57	97	4.8
	2300	57	94	4.9	54	92	4.6	51	89	4.5
	2200	51	88	4.5	48	84	4.4	45	79	4.2

**Cruise performance chart**

Fig. 10.10 - Performance em cruzeiro, Cessna 152.

Exemplo: Numa viagem no FL60 com uma VAV de 90 KT e com uma temperatura 10°C acima da temperatura standard, qual é o gasto horário? Primeiro procurar, no bloco que diz respeito aos 6000', a linha que corresponde aos 90KT (KTAS). Para a temperatura standard temos um gasto horário de 4.7 gal. (GPH), para 20°C acima da standard (e 89 KTAS) temos 4.6 GPH. A resposta para 10°C acima da temperatura standard é aproximadamente 4.7 GPH. A tabela indica também que os 90 KTAS correspondem a ca. 55% da potência do motor (BHP) e ao ajuste para 2200 RPM (rotações por minuto) do motor.

O gráfico seguinte (Fig. 10.11) serve para determinar a autonomia com depósitos cheios, dado o peso total à decolagem, em condições de temperatura standard. Já incluído está o gasto total até chegar à altitude de cruzeiro, e uma reserva de 45 min.

## ENDURANCE PROFILE 45 MINUTES RESERVE 24.5 GALLONS USABLE FUEL

### CONDITIONS:

1670 Pounds  
Recommended Lean Mixture for Cruise  
Standard Temperature

### NOTE:

This chart allows for the fuel used for engine start, taxi, takeoff and climb, and the time during climb.

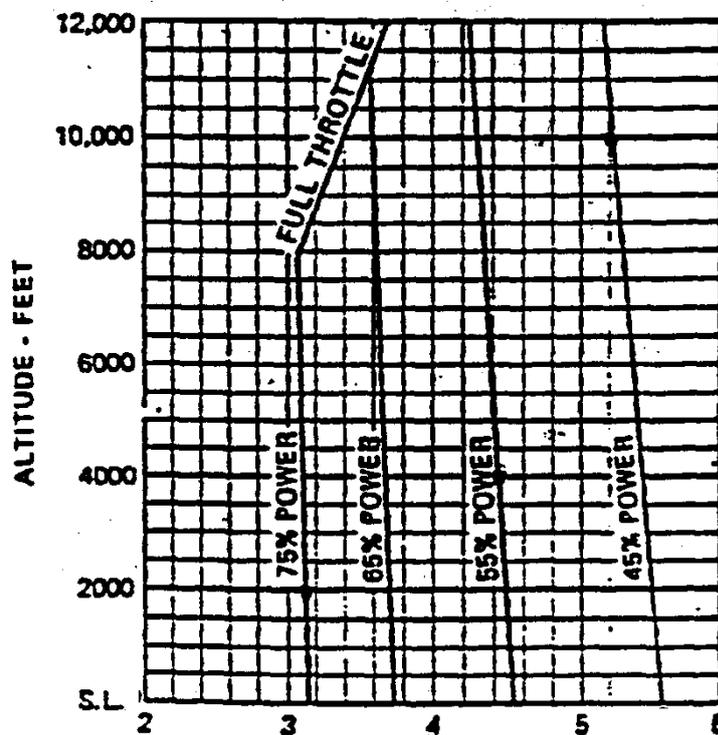


Fig. 10.11 - Autonomia, Cessna 152.

Exemplo: Peso à decolagem 1670 lbs., depósitos com 24.5 gal. de combustível. Na viagem a 6000' e com 55% de potência, temos ca. 0420 horas de autonomia.

A performance afecta também as distâncias de descolagem e aterragem. A tabela na Fig. 10.12 permite calcular a distância de descolagem. Assim podemos determinar se o nosso avião pode utilizar os aeródromos em questão, nas condições dadas.

**TAKEOFF DISTANCE**

**SHORT FIELD**

CONDITIONS:  
Flaps 10°  
Full Throttle Prior to Brake Release  
Paved, Level, Dry Runway  
Zero Wind

NOTES:  
1. Short field technique as specified in Section 4.  
2. Prior to takeoff from fields above 3000 feet elevation, the mixture should be leaned to give maximum RPM in a full throttle, static runup.  
3. Decrease distances 10% for each 9 knots headwind. For operation with tailwinds up to 10 knots, increase distances by 10% for each 2 knots.  
4. For operation on a dry, grass runway, increase distances by 15% of the "ground roll" figure.

WEIGHT LBS	TAKEOFF SPEED KIAS		PRESS ALT FT	0°C		10°C		20°C		30°C		40°C	
	LIFT OFF	AT 50 FT		GRND	TOTAL FT								
				ROLL FT	TO CLEAR 50 FT OBS								
1670	50	54	S.L.	640	1190'	695	1290	755	1390	810	1495	875	1605
			1000	705	1310	765	1420	825	1530	890	1645	960	1770
			2000	775	1445	840	1565	910	1690	980	1820	1055	1960
			3000	855	1600	925	1730	1000	1870	1080	2020	1165	2185
			4000	940	1775	1020	1920	1100	2080	1190	2250	1285	2440
			5000	1040	1970	1125	2140	1215	2320	1315	2525	1420	2750
			6000	1145	2200	1245	2395	1345	2610	1455	2855	1570	3125
			7000	1270	2470	1375	2705	1490	2960	1615	3255	1745	3590
			8000	1405	2800	1525	3080	1655	3395	1795	3765	1940	4195

Fig. 10.12 - Distâncias de descolagem, técnica de descolagem curta, Cessna 152.

Exemplo: Peso 1670 lbs, componente do vento de frente 10 KT, temperatura 21°C, pista de relva e altitude pressão 2000'. Qual é a distância de descolagem? Procuramos a linha de 2000'. Sendo a temperatura 21°C, lemos no quadro dos 20°C a distância de corrida de descolagem ("ground roll"), 910 pés, e a distância de descolagem ("total to clear 50' obstacle") para sobrevoar um obstáculo de 50', 1690 pés. Agora aplicamos as correções das notas 3 e 4. Sendo a componente do vento de frente 10KT (quase os 9KT da nota 3), diminuímos as distâncias por 10% e obtemos 819' e 1521', respectivamente. Na pista de relva temos de aumentar o ground roll por 15%, então por 123' para um total de 942'. A distância de descolagem tem de ser aumentada pelos mesmos 123' do ground roll e obtemos a resposta 1644'.

A tabela de distâncias de aterragem (Fig. 10.13) funciona de maneira parecida.

**LANDING DISTANCE**

**SHORT FIELD**

CONDITIONS:  
Flaps 30°  
Power Off  
Maximum Braking  
Paved, Level, Dry Runway  
Zero Wind

NOTES:  
1. Short field technique as specified in Section 4.  
2. Decrease distances 10% for each 9 knots headwind. For operation with tailwinds up to 10 knots, increase distances by 10% for each 2 knots.  
3. For operation on a dry, grass runway, increase distances by 45% of the "ground roll" figure.  
4. If a landing with flaps up is necessary, increase the approach speed by 7 KIAS and allow for 35% longer distances.

WEIGHT LBS	SPEED AT 50 FT KIAS	PRESS ALT FT	0°C		10°C		20°C		30°C		40°C	
			GRND	TOTAL FT								
			ROLL FT	TO CLEAR 50 FT OBS								
1670	54	S.L.	450	1160	465	1185	485	1215	500	1240	515	1265
		1000	465	1185	485	1215	500	1240	520	1270	535	1295
		2000	485	1215	500	1240	520	1270	535	1300	555	1330
		3000	500	1240	520	1275	540	1305	560	1335	575	1360
		4000	520	1275	540	1305	560	1335	580	1370	600	1400
		5000	540	1305	560	1335	580	1370	600	1400	620	1435
		6000	560	1340	580	1370	605	1410	625	1440	645	1475
		7000	585	1375	605	1410	625	1440	650	1480	670	1515
		8000	605	1410	630	1450	650	1480	675	1520	695	1555

Fig. 10.13 - Distâncias de aterragem, técnica de aterragem curta, Cessna 152.

Exemplo: Peso 1670 lbs., temperatura 10°C, altitude pressão 4000', vento de cauda 4KT. Encontrar a distância de aterragem em pista pavimentada molhada. Na linha 4000' e no quadro 10°C ler 540' ground roll e 1305' distância de aterragem. O vento de cauda aumenta os valores por 20%, o que dá 648' e 1566'. A regra a aplicar para a água na pista não se encontra mencionada nas notas da tabela; temos de aumentar a distância ground roll por 25%, então por 162', o que dá os resultados 810' e 1728'. (Uma avaria dos travões ia penalizar o ground roll em 20%). É de salientar que não é permitido aterrar se a distância calculada exceder 60% do comprimento efectivo da pista, no destino, ou 70% num aeródromo alternante.

### 10.5 Peso e centragem

O avião tem de ser operado dentro dos seus limites (envelope) de peso e de posição do centro de gravidade (CG). A operação fora destes limites é altamente perigosa. Com o peso máximo ultrapassado, ou não se consegue descolar ou é impossível subir. Com o CG fora do envelope torna-se difícil ou impossível de controlar o avião. Os limites podem ser dados num gráfico de peso e braço ou num gráfico de peso e momento. A relação é  $\text{peso} \times \text{braço} = \text{momento}$ , e os braços (ver Fig. 10.14) são medidos a partir de um ponto predefinido para o avião em questão, a *estação zero*.

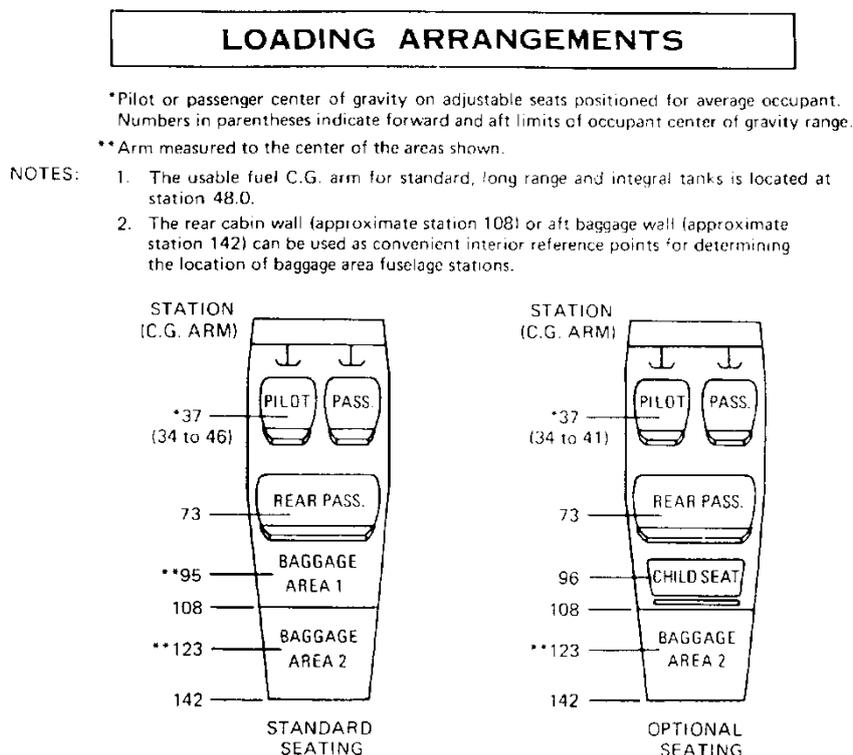
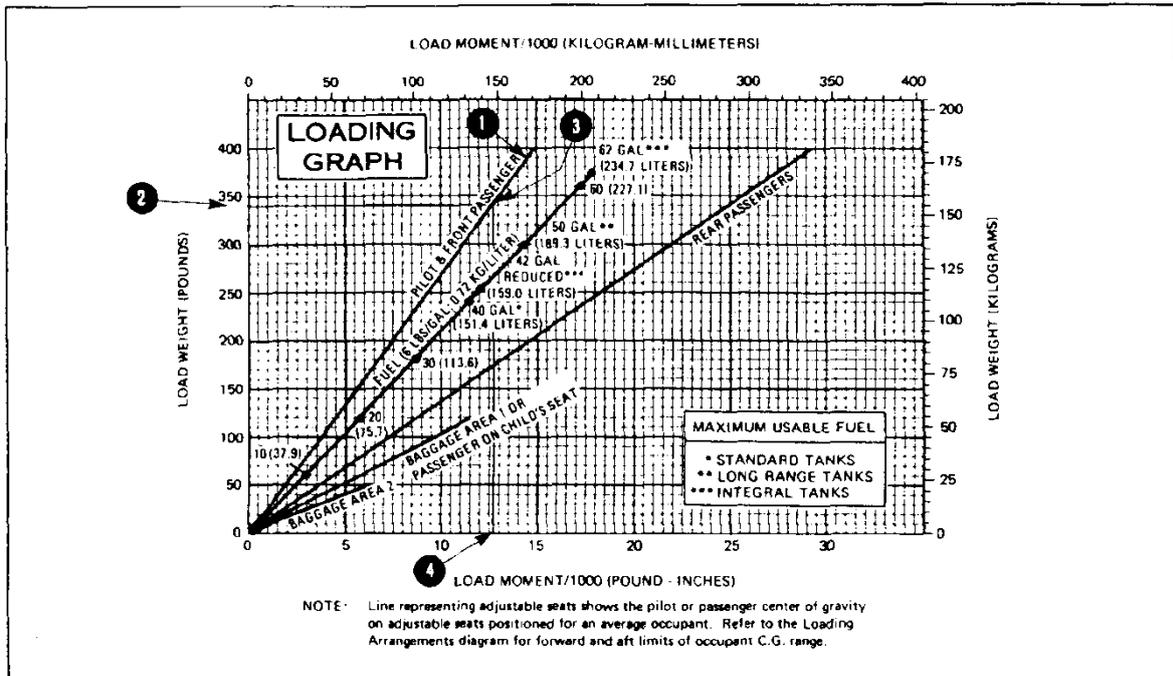


Fig. 10.14- Os braços de várias áreas de carregamento, Cessna 172.

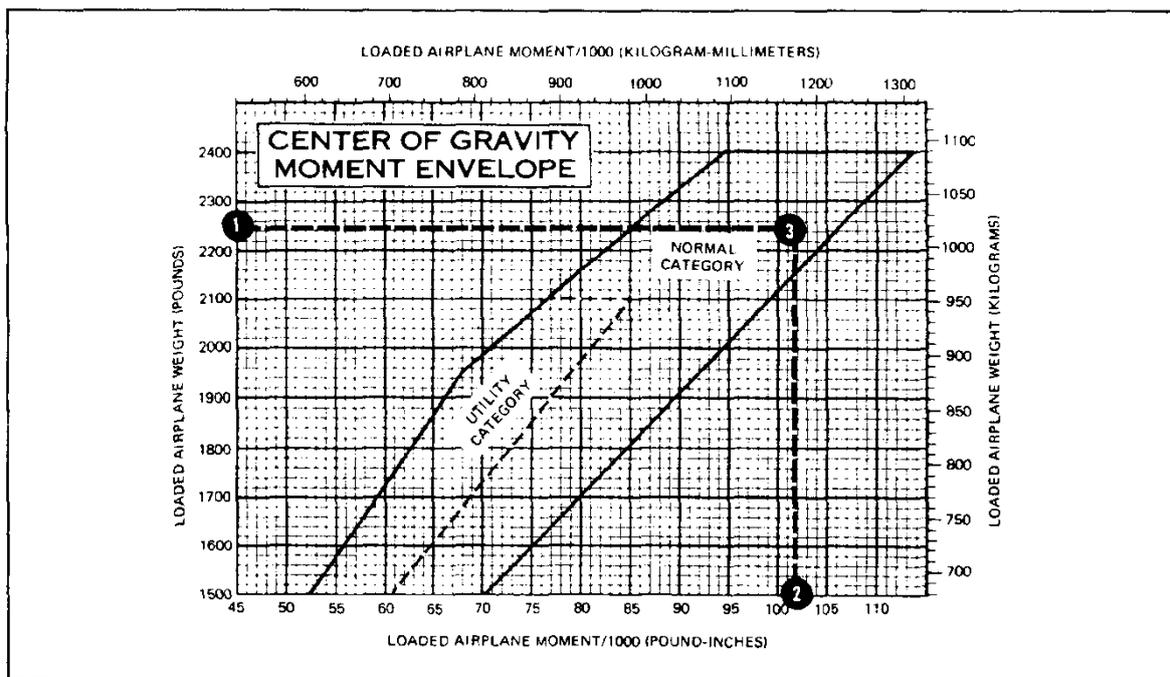
A maneira mais fácil de calcular o peso e centragem é o método gráfico. No gráfico de carga 10.15 (a) localizar o peso do piloto e passageiro da frente (2) no eixo vertical dos pesos (“load weight”) do lado esquerdo do diagrama. Passar horizontalmente para a direita e procurar a intersecção do peso com a linha “pilot and front passenger” (1). No ponto de intersecção, passar verticalmente para baixo e ler o momento (4) no eixo horizontal dos momentos. Apontar o peso e o momento numa ficha do tipo Fig. 10.16. Proceder da mesma maneira para os outros pontos de carga. Somar todas os pesos e todos os momentos, incluindo os do avião vazio e do óleo. Localizar o peso total (1) e o momento total (2) nos eixos correspondentes do gráfico do envelope do CG Fig.

10.15(b). O ponto de intersecção (3) tem de se encontrar dentro do envelope. *Atenção às unidades!*  
 Na Fig. 10.15 pode utilizar pesos em libras e momentos em libras × polegadas (eixos esquerdo e em baixo). Ou pode utilizar kg e kg × mm (eixos de cima e da direita), mas de maneira consistente!



(a)

Loading Graph



(b)

Centre of gravity moment envelope Cessna 172

Fig. 10.15 - Gráficos de carga (a) e do envelope do momento do CG (b), Cessna 172.

SAMPLE LOADING PROBLEM		
	Weight (lbs.)	Moment (lb. - ins. /1000)
1. Licensed Empty Weight (Sample Airplane) . . .	1431	54.8
2. Oil (8 qts. - Full oil may be assumed for all flights) . . . . .	15	-0.2
3. Fuel (Standard - 38 Gal at 6#/Gal) . . . . .		
Fuel (Long Range - 48 Gal at 8#/Gal) . . . . .		
4. Pilot and Front Passenger (Station 34 to 46) . . .		
5. Rear Passengers . . . . .		
6. Baggage for Passenger on Child's Seat (Station 82 to 108) . . . . .		
7. TOTAL WEIGHT AND MOMENT		
8. Locate this point (2309 at 101.0) on the center of gravity moment envelope. and since this point falls within the envelope, the loading is acceptable.		

Fig. 10.16 - Ficha de carga, Cessna 172.

Exemplo: Avião da ficha Fig. 10.16; combustível 38 gal → 228 lbs → 10.9 mom.; piloto e passageiro de frente 340 lbs → 12.7 mom.; passageiros de trás 280 lbs → 20.5 mom.; bagagem 15 lbs. → 1.5 mom.; onde “mom.” é a unidade do momento utilizada na ficha, libras x polegadas / 1000. Soma dos pesos, incluindo o avião e o óleo: 2309 lbs; soma dos momentos, incluindo avião e óleo: 100.2 mom; este ponto encontra-se dentro do envelope na Fig. 10.15(b). Note que o momento do óleo entra com um sinal negativo, porque o depósito de óleo se encontra do outro lado do ponto de referência escolhido para este avião. O peso do combustível pode ser lido da linha de combustível do gráfico Fig. 10.15(a).

Num outro método para determinar o CG não se recorre ao gráfico de carga mas lê-se os braços de um diagrama tipo Fig.10.14. Multiplicando os pesos com os braços obtêm-se os momentos. Tudo isto é compilado numa ficha do tipo Fig. 10.17. O peso e momento do avião encontram-se no manual deste. No fim soma-se os pesos e os momentos como no método anterior, e consulta-se o gráfico do envelope do CG. Ou, divide-se o momento total pelo peso total para obter o braço do CG. Neste caso consulta-se o gráfico dos limites do CG Fig. 10.18.

AVIÃO: (TIPO E REGISTO) _____		Data e Número do Voo _____	
	PESO (Lbs)	ver MANUAL do AVIÃO BRAÇO (Polegadas)	MOMENTO (Lbs . Pol)
PESO BÁSICO VASIO (BEW)	ver MANUAL		
PILOTO			
PILOTO/ PASSAGEIRO (assento à direita)			
PASSAGEIROS (primeira fila)			
PASSAGEIROS (segunda fila)			
BAGAGENS (compartimento de carga)			
COMBUSTÍVEL			
TOTAIS	(P)		(M)

PESO MÁXIMO À DESCOLAGEM (MTOW) \_\_\_\_\_  
 PESO À DESCOLAGEM NESTE VOO \_\_\_\_\_  
 CENTRO DE GRAVIDADE =  $\frac{\text{MOMENTO TOTAL (M)}}{\text{PESO TOTAL (P)}}$  = \_\_\_\_\_ Polegadas

CONSULTE O GRÁFICO DE LIMITES DO CENTRO DE GRAVIDADE DO SEU AVIÃO. VERIFIQUE A POSIÇÃO.

Fig. 10.17 - Ficha de peso e centragem.

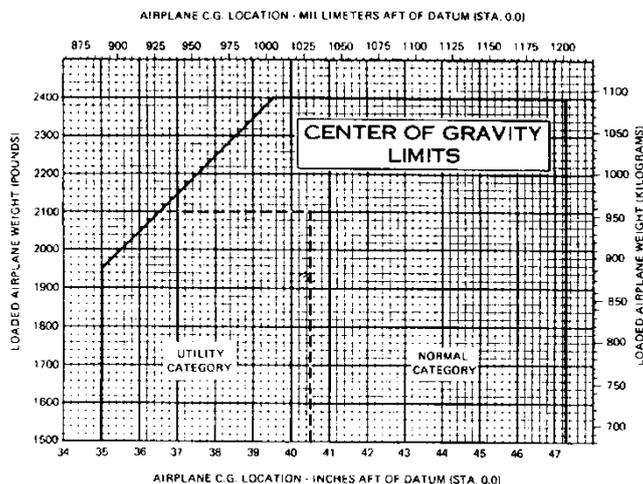


Fig. 10.18 - Limites do CG, Cessna 172.

Exemplo: Peso básico vasio (com óleo) e momento (do manual do avião): 1437 lbs e 55 700 lbs × pol. Piloto + passageiro de frente: 130 kg → 287 lbs → multiplicando com o braço de 37 polegadas nesta posição dá 10 619 lbs × pol. Passageiro de trás 25 kg → 55 lbs → x 73 pol dá 4015 lbs × pol. Bagagem na área 1: 45 kg → 99 lbs → x 95 dá 9405 lbs × pol. Combustível: 20 gal → 120 lbs → x 48 pol (ver nota na Fig. 10.13) dá 5760 lbs × pol. Totais: 1998 lbs peso, 85499 lbs × pol momento. Dividir momento por peso dá 42.8 pol braço do CG. Localizar o peso total e o braço do CG no gráfico dos limites do CG: neste caso, está dentro do envelope.

Mesmo dentro dos limites da posição permitida do CG, o comportamento aerodinâmico do avião é influenciado pelo peso total e pela posição do CG. Na Fig. 10.19 vemos o comportamento das velocidades de perda (“stall speeds”) para a posição mais traseira (“most rearward”) e mais dianteira (“most forward”) permitida do CG, para um dado peso total. Outras variáveis, como a distância de descolagem e aterragem e o gasto na subida dependem também do peso total.

### STALL SPEEDS

CONDITIONS:  
Power Off

NOTES:

1. Altitude loss during a stall recovery may be as much as 160 feet.
2. KIAS values are approximate and are based on airspeed calibration data with power off.

#### MOST REARWARD CENTER OF GRAVITY

WEIGHT LBS	FLAP DEFLECTION	ANGLE OF BANK							
		0°		30°		45°		60°	
		KIAS	KCAS	KIAS	KCAS	KIAS	KCAS	KIAS	KCAS
1670	UP	38	46	39	48	43	55	51	65
	10°	36	43	39	46	43	51	51	61
	30°	31	41	33	44	37	49	44	58

#### MOST FORWARD CENTER OF GRAVITY

WEIGHT LBS	FLAP DEFLECTION	ANGLE OF BANK							
		0°		30°		45°		60°	
		KIAS	KCAS	KIAS	KCAS	KIAS	KCAS	KIAS	KCAS
1670	UP	40	48	43	52	48	57	57	68
	10°	40	48	43	49	48	55	57	65
	30°	35	43	38	45	42	51	48	61

Fig. 10.19 - Velocidades de perda, Cessna 152.

## 10.6 Procedimentos de voos controlados

Sempre quando um voo (ou parte do voo) decorre em espaços aéreos controlados ou atravessa fronteiras internacionais, sobrevoa o mar a mais de 10 NM da costa ou em caso do voos IFR, é obrigatório submeter um *plano de voo* (“Flight Plan”, FPL). Pode ser desejável recorrer aos serviços do ATS por outros motivos e submeter o FPL. O FPL tem de ser submetido 30 min antes do início do voo (60 min para voos internacionais), tipicamente por e-mail, fax ou on-line. Num aeródromo pequeno isto é feito tipicamente entregando o impresso preenchido no aeródromo para este ser transmitido por fax ao ATS. Além disso, tem de contactar por rádio o ATS 10 min antes de entrar em qualquer espaço aéreo controlado e esperar a autorização. A comunicação do encerramento do FPL tem de chegar ao ATS o mais tardar 30 min depois da aterragem, para evitar uma operação de busca e salvamento. O FPL é um impresso (Fig. 10.20) a preencher e entregar. Alternativamente, pode submeter um FPL abreviado em voo por radiotelefonia (Fig. 10.21), que tem de chegar ao ATS competente pelo menos 10 min antes da entrada num espaço aéreo controlado.

AERÓDROMO MUNICIPAL DE COIMBRA		FLIGHT PLAN PLANO DE VOO	
PRIORITY Prioridade FF		ADDRESSEE(S) Destinatário(s)	
FILING TIME Hora de depósito		ORIGINATOR Expedidor	
SPECIFIC IDENTIFICATION OF ADDRESSEE(S) AND/OR ORIGINATOR Identificação específica do(a) destinatário(s) e/ou do expedidor			
3 MESSAGE TYPE Tipo de mensagem (FPL)	7 AIRCRAFT IDENTIFICATION Identificação da aeronave	8 FLIGHT RULES Regras do voo	TYPE OF FLIGHT Tipo de voo
9 NUMBER Número	TYPE OF AIRCRAFT Tipo de aeronave	WAKE TURBULENCE CATEGORY Categoria de risco aerodinâmico	10 EQUIPMENT Equipamento
13 DEPARTURE AERODROME Aeródromo de partida		TIME Hora	
15 CRUISING SPEED Velocidade de cruzeiro	LEVEL Nível	ROUTE Rota	
16 DESTINATION AERODROME Aeródromo de destino		TOTAL EET Duração total estimada HR MIN	ALTN AERODROME Aeródromo alternativo
18 OTHER INFORMATION Outras informações		2ND ALTN AERODROME 2º aeródromo alternativo	
SUPPLEMENTARY INFORMATION (NOT TO BE TRANSMITTED IN FPL MESSAGES) Informações suplementares (NÃO É TRANSMITIDO NAS MENSAGENS DE PLANO DE VOO)			
19 ENDURANCE Autonomia HR MIN	PERSONS ON BOARD Pessoas a bordo	EMERGENCY RADIO Rádio de emergência UHF VHF ELBA	
SURVIVAL EQUIPMENT / Equipamento de sobrevivência POLAR DESERT MARITIME JUNGLE Polar Deserto Marítimo Selva		JACKETS / Coletes de salvção LIGHT FLUORES Luzes Fluores	
DINGHIES / Balcões Número Capacidade	COVER Cobertura	COLOUR Cor	
AIRCRAFT COLOUR AND MARKINGS Cor e marcas da aeronave			
REMARKS Observações			
PILOT-IN-COMMAND Piloto comandante			
FILED BY / Depoitado por		SPACE RESERVED FOR ADDITIONAL REQUIREMENTS Espaço reservado a outras informações	

AERÓDROMO BISSAYA BARRETO

Cernache — 3000 COIMBRA

Tel / Fax: 039-947235

Fig. 10.20 - Plano de voo.



aerportos e navegação aérea

ESTAÇÃO AERONÁUTICA DE LISBOA

AFL

DATA \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

INDICATIVO: _____	REGRAS DE VOO: _____	TIPO DE VOO: _____
TIPO DE AERONAVE: _____ / _____	EQUIPAMENTO: _____ / _____	
ORIGEM: _____	ETD: _____	
VEL: _____	NÍVEL: _____	RÓTA: _____
DESTINO: _____	EET: _____	ALTERNANTE: _____
AUTONOMIA: _____	PESSOAS A BORDO: _____	
CORES DA AERONAVE: _____	COMANDANTE-PILOTO: _____	
OUTRAS INFORMAÇÕES: _____		

Fig. 10.21 - Informação do plano de voo submetido durante o voo.

A informação a preencher é a seguinte (de acordo com os números no impresso):

- 7 - identificação da aeronave (matrícula por exemplo)
- 8 - regras de voo (V para VFR), tipo de voo (G para um voo normal particular)
- 9 - tipo da aeronave (C152 para Cessna 152), rasto aerodinâmico (L para avião leve)
- 10 - equipamento (S/A se tiver VHF, ADF, VOR, ILS e transponder )
- 13 - sigla do aeródromo de partida (LPCO para Coimbra, ZZZZ com indicação em 18 para Aveiro), hora ETD (em UTC)
- 15 - velocidade de cruzeiro (N0085 para 85 nós), nível de cruzeiro (A035 para 3500', F055 para FL55), rota (DCT para rota directa)
- 16 - sigla do destino, tempo EET, sigla da alternante
- 18 - aqui aparece por exemplo a designação do operador da aeronave (OPR/...(nome)), a especificação da sigla ZZZZ em 13 ou 16 (DEP/S.JACINTO para partida em Aveiro), ou um outro comentário (RMK/INSTRUCTION FLIGHT)
- 19 - autonomia, número de pessoas a bordo, o tipo de rádio de emergência, equipamento de salvamento (cortar o que não tem); em A/ indicar a cor da aeronave (e.g. WHITE AND RED STRIPES), cortar o N/ se não tiver observações a fazer, em C/ indicar o nome do piloto comandante (e.g. J.CARVALHO), assinar em FILED BY.

Outros pormenores encontram-se na publicação que descreve como preencher o plano do voo.

## 11. Navegação prática

Uma boa preparação antes do voo é essencial, mas muito depende também de como se organiza as tarefas dentro do cockpit, onde temos de pilotar, observar os instrumentos e o tráfego, comunicar com o ATS e navegar.

### 11.1 Antes da decolagem

Tendo preparado o voo e a ficha de voo, tratado das eventuais formalidades antes do voo (FPL, formalidades de voos internacionais, etc.), e feita a inspecção dos 360<sup>o</sup>, põe-se a *check list*, a ficha de voo, as cartas e um relógio num sítio visível e acessível no cockpit. No momento antes do arranque do(s) motor(es) aponta-se a hora e a indicação do contador horário (“Hour Meter”) na ficha de voo. Quando se recebe a informação do QNH, da pista em uso e do vento, escreve-se esta informação também, e ajusta-se o altímetro, comparando a altitude com a altitude conhecida do aeródromo. Um dos pontos da *check list* é o ajuste do gyro de acordo com a bússola magnética. Aqui, como também durante o voo, temos de corrigir as indicações da bússola magnética de acordo com a tabela de desvios afixada na bússola. No momento antes da decolagem anota-se a hora de decolagem; é neste momento que começa a contagem do EET.



Fig. 11.1 – Um contador horário.

### 11.2 Durante o voo

O gyro é de facto o instrumento que se utiliza para a navegação, porque não tem os erros dinâmicos da bússola magnética e uma escala mais facilmente utilizável. Tem de ser ajustado antes e regularmente durante o voo (talvez cada 10 ou 20 min, dependente do comportamento do instrumento em questão). Para ajustar o gyro de acordo com a bússola magnética o voo tem de ser em linha recta plana, nivelado e sem acelerações, para minimizar os erros dinâmicos da bússola magnética no momento da leitura.

Depois da decolagem temos de estabelecer e manter o rumo desejado, a altitude e a velocidade, tudo de acordo com a ficha de voo sempre à mão. O progresso do voo é monitorizado comparando as observações visuais e comparando com os fixos da ficha de voo. A carta de navegação é consultada com o “rumo para cima”, ver Fig. 11.2. Medições rápidas podem ser feitas com o polegar e a mão, como indica a Fig. 11.3, e distâncias no terreno podem ser estimadas como discutido na Secção 7.6.

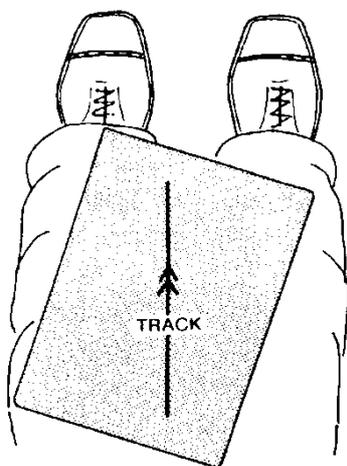


Fig. 11.2 - Posição da carta no cockpit.

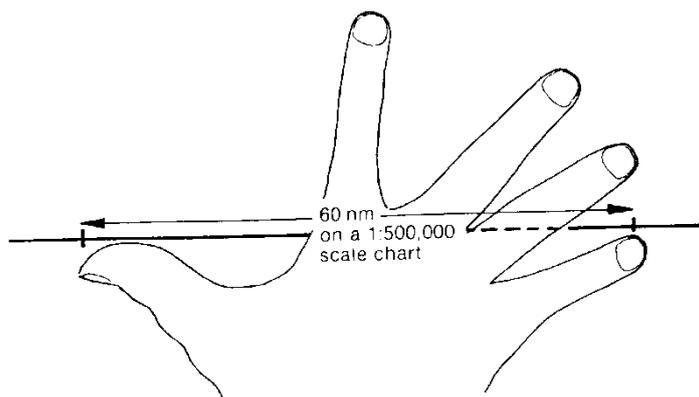
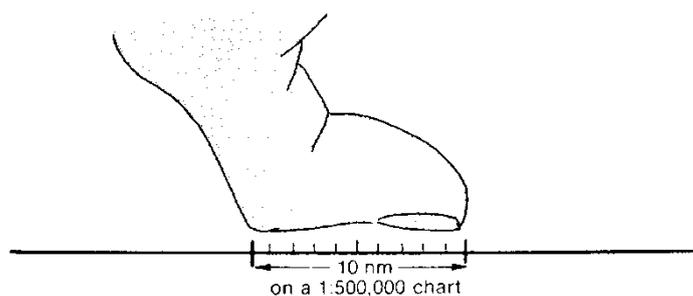


Fig. 11.3 - Medições rápidas com polegar e mão.

Qualquer desvio da rota é corrigido (ver a Secção 7.6), e se a alteração do ETA resultante do progresso actual do voo é mais de 3 min num voo controlado, este facto tem de ser comunicado.

Estar atento aos espaços aéreos controlados (comunicar antes de entrar). Apontar, Squawk, QNH, frequências fornecidas pelo ATS e seguir as instruções dadas.

### ***11.3 Chegada***

Num voo controlado o plano de voo tem de ser encerrado. Caso se tratar de um aeródromo de destino não controlado, pede-se a autorização de mudar para a frequência local do aeródromo, terminando neste momento o plano de voo. Em aeródromos controlados o voo continua controlado até a aterragem que termina o plano de voo. Depois de desligar o(s) motor(es) anota-se a hora e a indicação do contador horário. Resta calcular o tempo total de voo (motor ligado - motor desligado) e preencher este valor na caderneta de voo do piloto e as horas na caderneta do avião, bem como as outras indicações, descritas nas instruções destas cadernetas. Em certos casos é ainda necessário passar à sala de despacho do ATS (ARO = “Airport Reporting Office”) para fechar o plano de voo, pagar a taxa de aterragem ou tratar as formalidades da alfândega.

## 12. Rádio-navegação

As condições VMC (visual meteorological conditions) exigidas para voos VFR permitem normalmente a navegação só por referências visuais no solo. No entanto, a existência de ajudas de rádio-navegação facilitam a tarefa de se orientar e reduzem assim a hipótese de uma situação de incerteza da posição ou até de se estar perdido sobre terreno desconhecido. Nem todas as rádio-ajudas necessitam instrumentos especiais a bordo da aeronave, além do rádio VHF de comunicação.

As ondas rádio são ondas eletromagnéticas. Obedecem à relação

$$\lambda n = c.$$

A emissão ou captação é efetuada recorrendo a *antenas* (“antenna”, “aerial”). Dependente da forma da antena, a emissão do sinal pode ser *omnidireccional* (com a mesma intensidade de emissão em todas as direcções) ou dirigida (direcção preferencial).

Tipicamente, o comprimento da antena é de  $\lambda/2$  (antena dipolar) ou  $\lambda/4$  (antena monopolar, o outro polo sendo a “terra”).

A *propagação* das ondas pode desviar da linha recta por reflexão, refacção e difracção. Além da propagação directa *aérea*, ondas de comprimento grande (até HF, 100 m e mais, < 3 MHz) propagam ao longo da superfície (onda *terrestre* devido a difracção), o que aumenta o alcance para além da linha de vista.

As ondas terrestres sofrem refacção nas costas devido à alteração de propriedades eléctricas do terreno (“shoreline effect”).

### 12.1 NDB/ADF e RMI

O NDB (“Non-Directional Beacon”, isto é, uma emissora não-direccional) é a rádio-ajuda mais simples utilizada por aeronaves. É uma estação terrestre que emite energia rádio-electrica em todas as direcções, daí o nome. A frequência utilizada encontra-se na faixa das ondas longas e médias, 200kHz...1750kHz. Cada NDB transmite na sua frequência um sinal de identificação em código Morse. As letras da identificação aparecem nas cartas. (Em muitos casos o sinal não é audível e tem de ser escolhida a posição BFO ou CW no receptor para ouvir os sinais). Alguns NDBs transmitem também informações aeronáuticas ATIS (“Automatic Terminal Information Service”). O alcance do NDB é também publicado e tem de ser tomado em conta quando se pretende utilizar esta ajuda de navegação.

Para poder utilizar o NDB como rádio-ajuda, o avião tem de ter instalado um ADF (“Automatic Direction Finder” = detector automático de direcção). A Fig. 12.1 mostra um exemplo das antenas e instrumentos a bordo de um ADF. O princípio de funcionamento é o seguinte. Debaixo da fuselagem do avião é instalada uma antena circular rotativa (ou um equivalente electrónico). A intensidade de corrente induzida na antena depende da posição momentânea em relação à estação NDB (Fig. 12.2). Sempre quando a antena roda para uma posição perpendicular às ondas electromagnéticas recebidas do NDB, não é induzida nenhuma corrente, e o sinal recebido desaparece. Esta posição indica assim a linha de direcção do NDB. Numa volta completa de  $360^0$  a antena passa duas vezes pela posição do mínimo e sem mais informação não se saberia se o NDB se encontra de um lado ou do outro ao longo da linha detectada. Recorre-se então a uma antena adicional fixa, sem propriedades direccionais, que recebe sempre a mesma intensidade electromagnética. A comparação das fases das correntes induzidas nas duas antenas permite distinguir entre as posições  $180^0$  e  $360^0$  e a ambiguidade é resolvida.



Fig. 12.1 - Os três componentes do ADF: o receptor (“ADF control panel”), as antenas (“combined loop and sense antenna”) e o instrumento que indica a direcção do NDB (“card and pointer”).

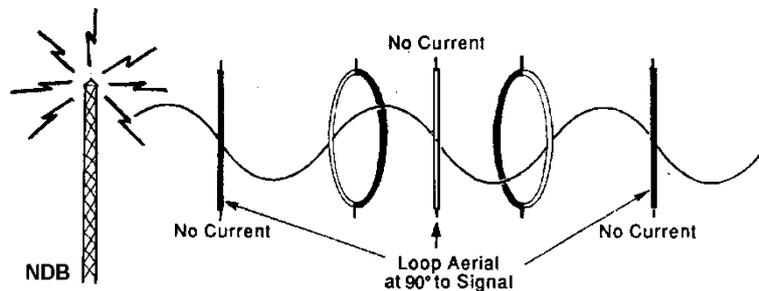


Fig. 12.2 - A antena rotativa do ADF. Nenhuma corrente é induzida (“no current”) quando a antena circular (“loop aerial”) é perpendicular à linha de emissão (“at 90° to signal”).

A agulha do instrumento do ADF (RBI = “Relative Bearing Indicator” = indicador de levantamento relativo) indica a posição do NDB *em relação ao eixo longitudinal* do avião, o *rumo relativo* RR (ou *azimute relativo*). Quando a agulha aponta para cima (zero graus), o NDB encontra-se em frente do avião. Utilizando a bússola magnética (ou o gyro) e o RR do ADF, pode ser calculado o rumo magnético para a estação, chamado QDM:  $QDM = Rm + RR$ . No exemplo da Fig. 12.3 temos  $QDM = 280 + 030 = 310$ .  $QDR = QDM - 180 = 130$ .

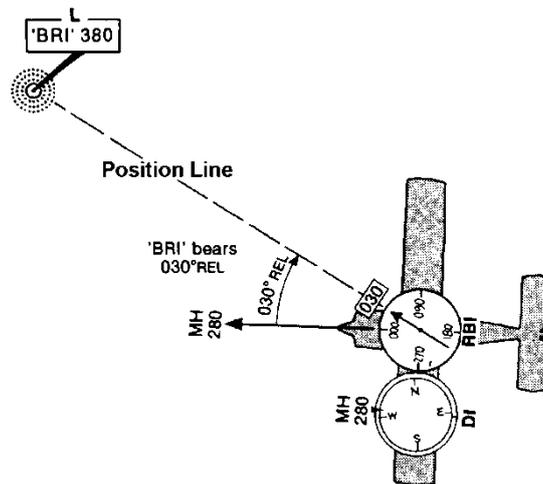


Fig. 12.3 - A indicação do ADF.

Da Fig. 12.3 é óbvio que, cada vez que o rumo é alterado, o ADF indica um outro RR. O rumo recíproco do QDM, isto é,  $QDM + 180$ , chama-se QDR.

O QDM permite traçar uma linha de posição. O cruzamento de duas linhas de posição resulta num fixo. Para traçar as linhas de posição numa carta, temos de recalcular direcções magnéticas em direcções verdadeiras.

Muitas vezes pretende-se seguir um dado QDM para a estação NDB. O QDM é interceptado de acordo com o seguinte procedimento:

- Escolher um ângulo de intercepção A.
- Voltar para o rumo de intercepção  $QDM + A$ .
- Observar o ponteiro do ADF. Este está a 'descer'. A linha que corresponde ao QDM pretendido é interceptada quando o ponteiro indica o RR -A.
- Agora volta-se para o rumo que corresponde ao QDM pretendido.

Exemplo (Fig. 12.4): O avião voa um Rm 355 e o ADF indica um RR 005 → o QDM actual é 360. Pretende-se interceptar o QDM 340 e escolhe-se um ângulo de intercepção de  $+60^{\circ}$ . O rumo de intercepção é  $340 + 60 = 400 \rightarrow 040$ . Voando no Rm 040 observa-se a agulha do ADF. Tratando-se de um ângulo de intercepção de  $+60^{\circ}$  (mais que o QDM pretendido), a linha que corresponde ao QDM pretendido é interceptada quando a agulha do ADF desce para  $-60^{\circ}$ , isto é, para um RR de 300. Neste momento (ou de facto um pouco antes) volta-se para o novo rumo que corresponde ao QDM 340.

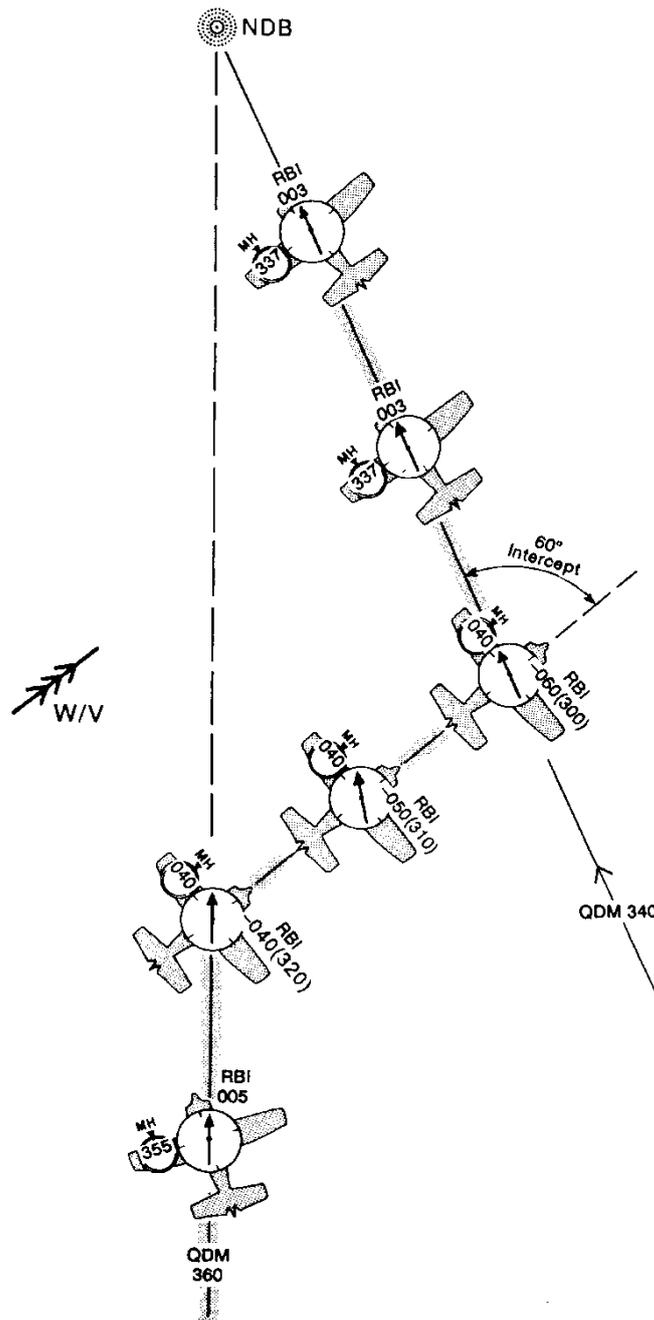


Fig. 12.4 - Intercepção de um QDM.

Um método parecido é utilizado para interceptar um QDR pretendido.

- Escolher um ângulo de intercepção A.
- Voltar para o rumo de intercepção  $QDR + A$ .
- Observar o *lado oposto* da agulha do ADF. Este está a 'subir'. A linha que corresponde ao QDR pretendido é interceptada quando o lado oposto indica -A.
- Agora volta-se para o rumo que corresponde ao QDR pretendido.

Exemplo: Queremos interceptar o QDR 280 num ângulo de intercepção de  $+60^0$ . O rumo de intercepção é  $280 + 60 = 340$ . Neste caso observamos o lado oposto da agulha. Este deve subir até o ângulo de  $-60^0$ , isto é, para 300. Ver Fig. 12.5.

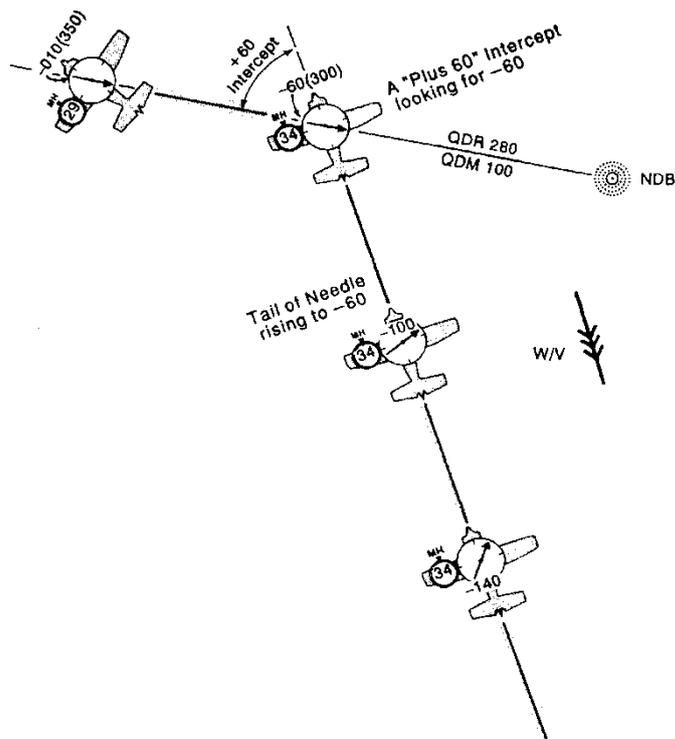


Fig. 12.5 - Intercepção de um QDR.

*Homing* é o procedimento de apontar o eixo longitudinal do avião para o NDB, então com a indicação do RR 000. Assim chegamos directamente à posição do NDB. Sem vento, isto corresponde a voar um certo QDM. Com vento, no entanto, o homing não resulta no caminho mais curto à estação (Fig. 12.6). Para voar em linha recta é necessário aplicar o abatimento correspondente ao vento, um procedimento chamado *tracking*. Quando não se conhece o vento, o método para estimar o abatimento é de *duplicar o erro*. Se no rumo inicial  $R_i$  o avião tiver uma deriva que resulta num ângulo  $-A$  (indicado pelo RR =  $+A$ ), altera-se o rumo para  $R_i+2A$ . A linha do QDM é atingida quando o RR desceu para  $-2A$ . A partir daí volta-se para o novo rumo  $R_i+A$  para seguir no QDM (ver exemplo na Fig. 12.7). Se o RR continuar constante em  $-A$ , para o novo rumo constante, o tracking continua certo.

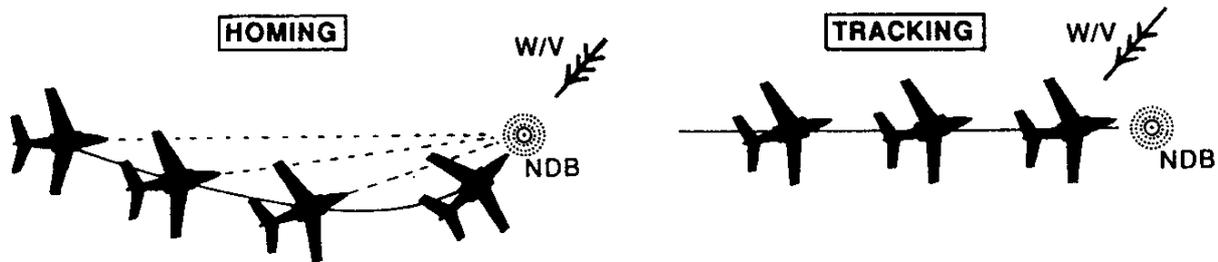


Fig. 12.6 - Homing e tracking.

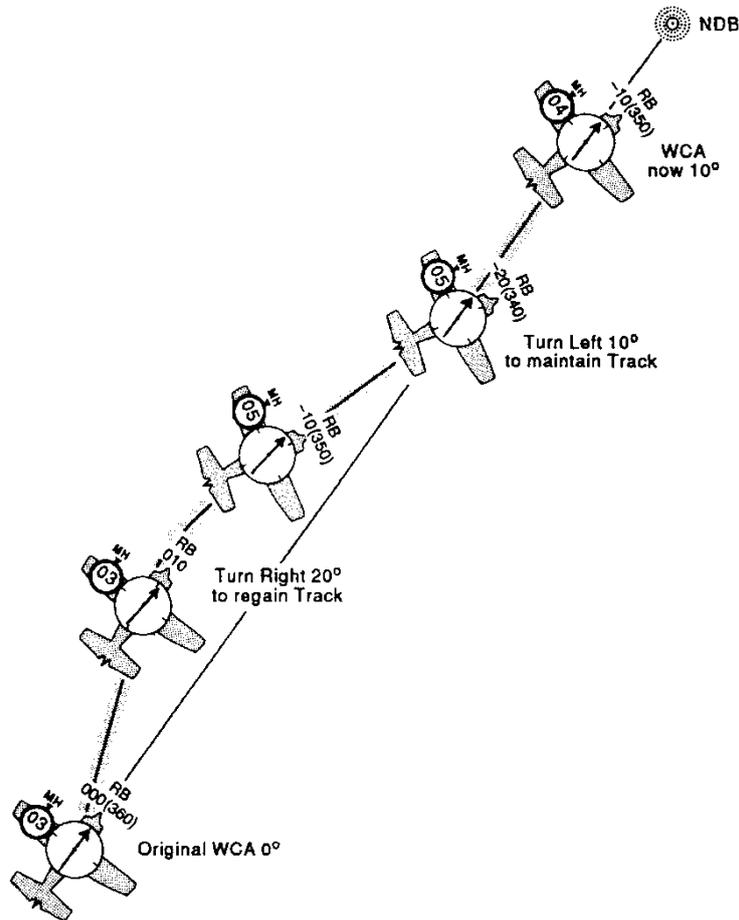


Fig. 12.7 - Método de duplicar o erro no QDM.

A agulha do ADF torna-se cada vez mais sensível quando o avião se aproxima da estação NDB. Quando se passa por cima do NDB, a agulha fica muito agitada e depois vai “descer” para apontar para baixo. Se se pretende seguir um certo QDR, ajusta-se o Rm correspondentemente, com a indicação do ADF na posição 180 (ou o lado oposto da agulha em 000). Se houver vento, aplica-se o método de duplicar o erro. Neste caso, se no rumo inicial  $R_i$  o avião tiver uma deriva que resulta num ângulo  $+A$  (indicado pelo lado oposto da agulha em  $+A$ ), altera-se o rumo para  $R_i - 2A$ . A linha do QDM é atingida quando o lado oposto da agulha subir para  $2A$ . A partir daí volta-se para o novo rumo  $R_i - A$  para seguir no QDM (ver exemplo na Fig. 12.8). Se o lado oposto da agulha continuar constante em  $+A$ , para o novo rumo constante, o QDR continua certo.

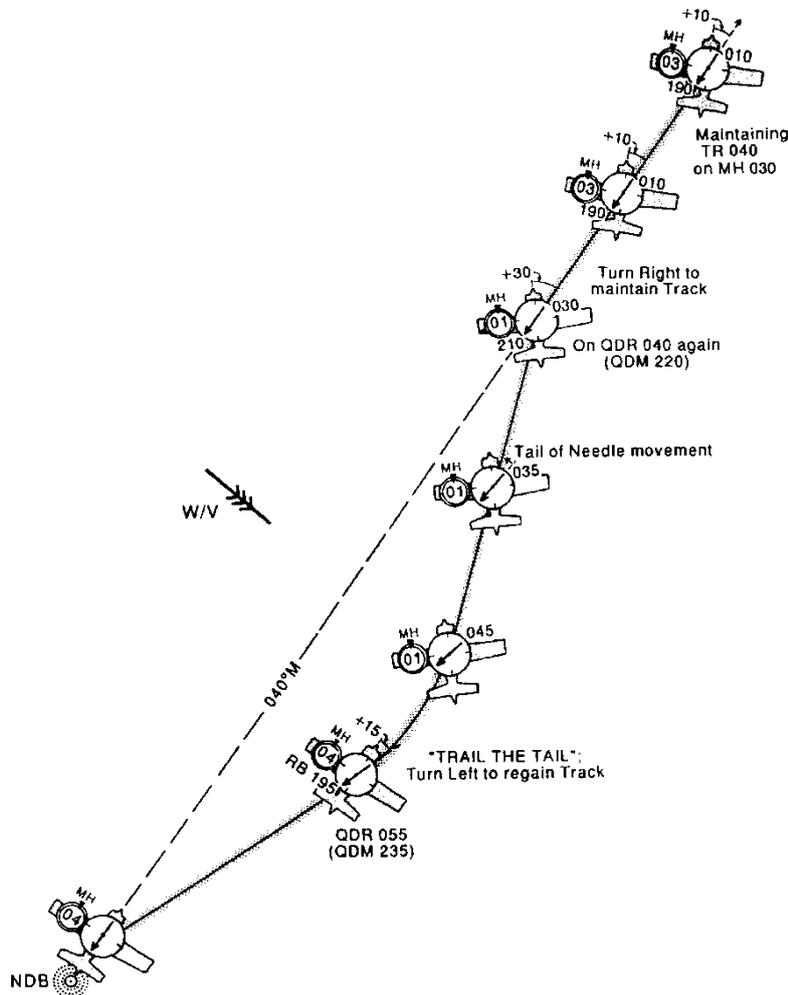


Fig. 12.8 - Método de duplicar o erro no QDR.

O RMI (“Radio Magnetic Indicator”) é um instrumento ADF cuja escala é automaticamente alinhada com o Norte magnético. Um sensor magnético *flux valve* fornece a informação de bússola magnética a um gyro, que controla a escala do RMI (Fig. 12.9). A agulha funciona da mesma maneira que no RBI. No entanto, como a escala roda de acordo com o rumo magnético, o ponteiro do ADF no RMI indica directamente o QDM para o NDB, sem necessidade de fazer contas. O lado oposto da agulha indica da mesma maneira QDRs. (Existem também ADFs com uma escala que não é ajustada automaticamente como no RMI mas que pode ser ajustada à mão; a funcionalidade corresponde ao RMI). Em geral, o instrumento tem um *anunciador* que indica o alinhamento correcto da escala. Se a escala ficar muito fora do alinhamento ou se o sistema falhar, pode ser ajustada manualmente.

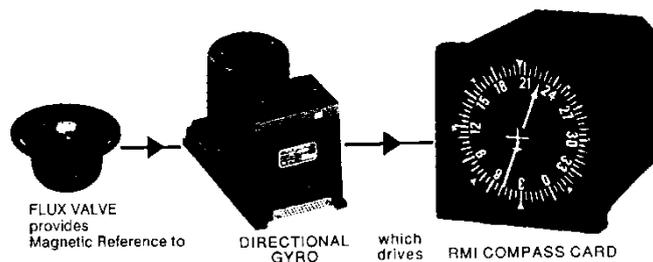


Fig. 12.9 - Os componentes adicionais do RMI.

Existem instrumentos ADF com escala não automática, mas ajustável manualmente de acordo com o rumo.



Fig. 12.10 – ADF ajustável manualmente.

Instrumentos RMI com duas agulhas e dois receptores ADF ou ADF e VOR facilitam a obtenção de um fixo a partir de duas linhas de posição.



Fig. 12.11 – RMI com receptores NDB e VOR.

Interceptar um QDM torna-se mais fácil. Escolha-se um rumo de interceptação. Como o ponteiro do RMI indica directamente QDMs, espera-se que o ponteiro desça até o QDM pretendido; neste momento volta-se para o rumo correspondente ao QDM. Na interceptação de um QDR espera-se que o lado oposto da agulha suba para indicar o QDR, e volta-se então para o rumo que corresponde ao QDR.

Alguns RMIs têm duas agulhas com dois receptores ADF ou VOR associados, o que facilita a determinação de um fixo por linhas de posição.

O alcance da maior parte dos NDBs é tipicamente umas poucas dezenas de milhas náuticas, embora existam NDBs com 400 NM de alcance. Dentro dos limites de alcance publicados o NDB deveria fornecer informação direccional de uma precisão de  $\pm 5^{\circ}$ , que pode atingir  $\pm 2^{\circ}$ . No entanto, existem factores que podem reduzir esta precisão consideravelmente:

- Trovoadas: Podem causar que a agulha do ADF aponte para as descargas eléctricas em vez de para o NDB.
- Crepúsculo e noite: Reflexões de ondas da ionosfera interferem com as ondas directas do NDB e deterioram a indicação do ADF.
- Interferências: NDBs que trabalham em frequências próximas podem interferir.
- Montanhas: Podem reflectir as ondas e dar origem a erros.
- Costas: Quando as ondas atravessam uma linha de costa na direcção do mar ocorre uma refacção; as ondas são deflectidas um pouco na direcção da costa.
- Erro quadrantal: A massa metálica do avião tem influência na propagação das ondas electromagnéticas e por isso pode introduzir erros.

## 12.2 VDF

Um exemplo de uma rádio-ajuda sem instrumento especial a bordo é o VDF (“VHF direction finding” = detecção de direcção de VHF). Alguns aeródromos são equipados com antenas que podem detectar a direcção de onde são recebidas as transmissões VHF de comunicação com os aviões (118.000 MHz ... 136.975 MHz). O princípio corresponde ao ADF, só que é a estação terrestre que possui o equipamento de detecção e é o avião que desempenha o papel do NDB. O piloto pode pedir o QDM ao aeródromo ou o recíproco, o QDR do aeródromo. Ou pede o QTE, que é a direcção verdadeira correspondente à direcção magnética QDR, ou o QUJ, direcção verdadeira correspondente ao QDM, para mais facilmente traçar uma linha de posição na carta. O operador do equipamento VDF pede ao piloto de premir o PTT (“push to talk”, botão de transmissão) durante uns segundos e comunica ao piloto o valor lido num mostrador digital ou num ecran tipo Radar que indica, de acordo com o pedido, o QDM, o QDR ou o QTE. Equipamentos modernos detectam a direcção logo e o tempo de transmissão do avião só precisa ser curto. O homing e o tracking funcionam da mesma maneira que na utilização do RMI, só que o piloto tem de pedir periodicamente a informação do QDM ou QDR.



Fig. 12.12 – O rádio a bordo do avião serve como o transmissor para VDF.

A qualidade dos rumos obtidos no VDF é classificada pelo operador e comunicada ao piloto:

- classe A: precisão de  $\pm 2^0$
- classe B: precisão de  $\pm 5^0$
- classe C: precisão de  $\pm 10^0$
- classe D: precisão pior que  $\pm 10^0$

VDFs modernos têm uma precisão de  $\pm 1^0$ , mas a precisão pode ser deteriorada por:

- erros de posição: reflexões do terreno irregular, de edifícios etc.
- erros de propagação: refração das ondas electromagnéticas quando passam por terrenos diferentes, particularmente quando o avião se encontra longe do VDF.

Tratando-se de frequências VHF, a transmissão tem de ser em linha de vista, o que limita o alcance (ver VOR).

### 12.3 VOR

O sistema VOR (“VHF Omni-Directional Radio Range” = rádio-detector VHF omni-direccional) consiste de uma estação no solo que trabalha numa frequência entre 108.00 e 117.95 MHz (Fig. 12.13), e a bordo da aeronave de antenas, de um receptor e de um instrumento que indica a informação direccional (Fig. 12.14).



Fig. 12.13 - Uma emissora VOR.



Fig. 12.14 - O equipamento VOR do avião.

A estação terrestre emite dois sinais VHF. Uma é a *fase de referência*, que é igual em todas as direcções, e é emitida de uma antena fixa em FM (modulação de frequência). Outra é a *fase variável* que roda 1800 vezes por minuto e é emitida em AM (modulação de amplitude) de uma antena que roda em torno da antena fixa (ou é utilizado um equivalente electrónico). O conjunto é ajustado para ter os dois sinais em fase na direcção do Norte magnético. A diferença de fases varia continuamente de  $0^{\circ}$  até  $359^{\circ}$  (ver Fig. 12.15). Além disso, o VOR emite um sinal de identificação em código Morse, que pode ser ouvido no receptor do avião. Alguns VORs transmitem também informação ATIS.

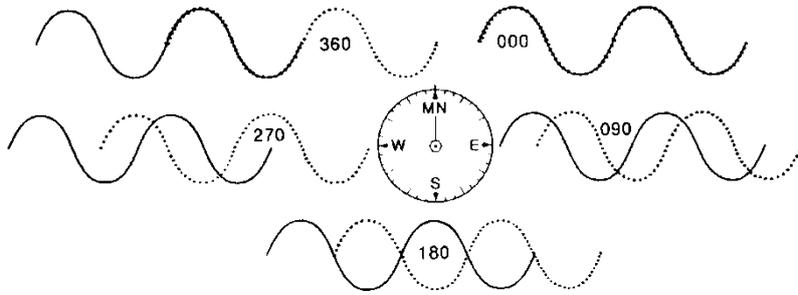


Fig. 12.15 - Relação das duas fases do VOR em várias direcções magnéticas.

O equipamento a bordo do avião mede a diferença das fases recebidas e determina assim o QDR da estação VOR. Diz-se que a estação VOR emite *radiais* (Fig. 12.16), e por convenção fala-se de 360 radiais, porque para efeitos de navegação a precisão de um grau é suficiente. As cartas aeronáuticas que trazem informações dos VORs indicam as letras de identificação, a frequência e a direcção do Norte magnético na posição da estação (o radial 000).

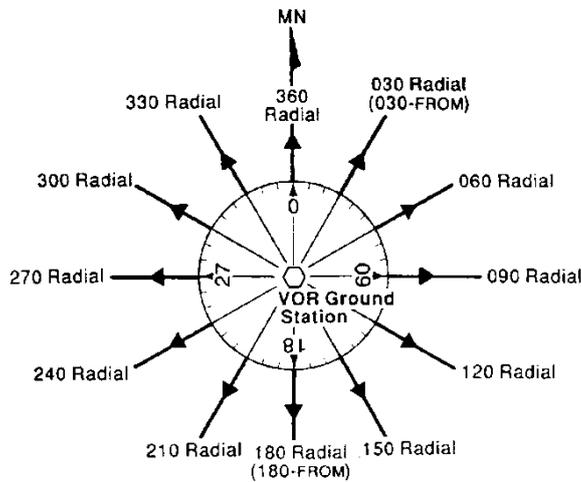


Fig. 12.16 - Radiais do VOR.

O instrumento VOR no cockpit tem o nome OBI (“Omni Bearing Indicator” = indicador de levantamentos omni) e indica a posição da aeronave em relação ao radial seleccionado numa escala com o botão denominado OBS (“Omni Bearing Selector” = selector de levantamentos omni). O valor angular de afastamento do radial escolhido é indicado pelo CDI (“Course Deviation Indicator” = indicador de desvio do caminho), uma agulha que indica o afastamento numa escala horizontal, na qual cada ponto equivale a 2°, e onde a posição central da agulha indica a posição da aeronave no radial escolhido (Fig. 12.18). A indicação do OBI *não depende da orientação do avião* no radial!



Fig. 12.17 – Dois tipos principais de CDI.

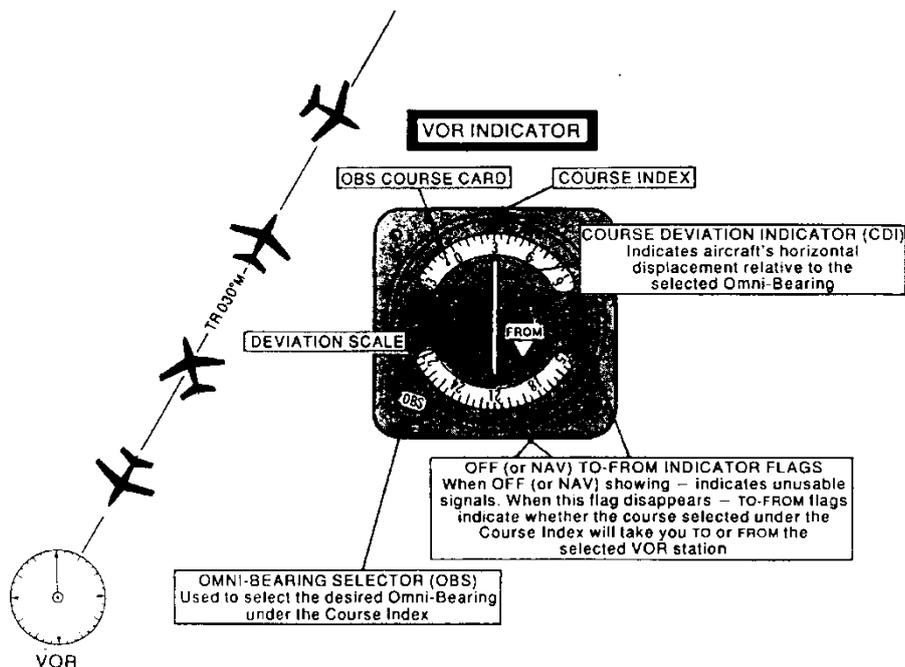


Fig. 12.18 - O OBI no radial 030 do VOR.

Há ainda uma outra informação importante no OBI. Existe uma janela que pode indicar TO, pode indicar FROM ou pode indicar OFF (ou NAV). *Só na posição FROM e com o CDI centrado está-se no radial selecionado com o OBS!* Quando se roda o OBS para selecionar radiais, nota-se que o CDI fica centrado duas vezes em  $360^{\circ}$ , uma vez com a indicação FROM escolhendo o radial certo, e outra vez com a indicação TO, selecionando o valor recíproco de mais  $180^{\circ}$ . Isto é, com a indicação TO, determina-se o QDM para a estação, e não o radial (que é o QDR). A janela fica na posição OFF (ou NAV) a) quando se passa por cima da estação VOR ou b) quando o receptor VOR não capta a estação por ficar fora do alcance.

Exemplos: Quando a avião passa pelo radial 090, com 090 selecionado, a agulha fica centrada e a janela mostra FROM. Com 270 selecionado, a agulha fica também centrada mas a janela mostra TO (ver Fig. 12.19).

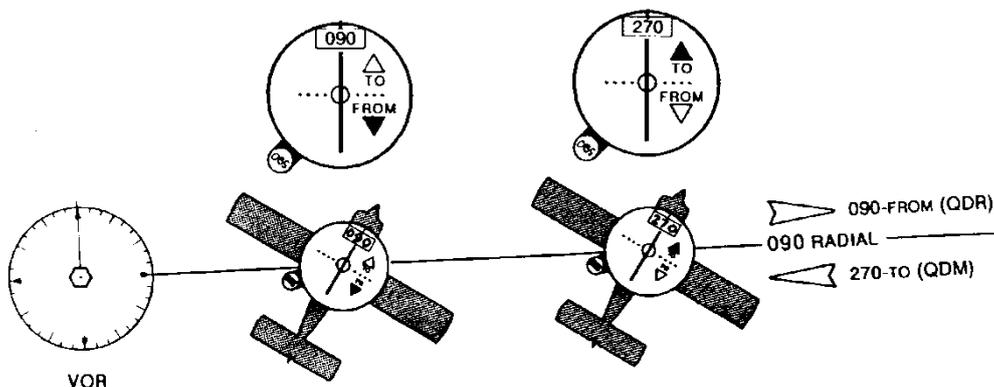


Fig. 12.19 - Utilização da indicação TO/FROM.

Outra situação típica é ilustrada na Fig. 12.20. O avião aproxima-se do VOR no radial 270 mas com 090 seleccionado. Esta escolha tem a vantagem que o caminho magnético é também 090, o gyro indica 090 (na ausência de vento). A janela do OBI indica TO. Quando o avião passa por cima do VOR, a janela fica em OFF ou flutua entre o TO e FROM. Depois desta *zona de confusão* (um 'funil' que aponta para cima da estação) vê-se FROM quando o avião se afasta no radial 090.

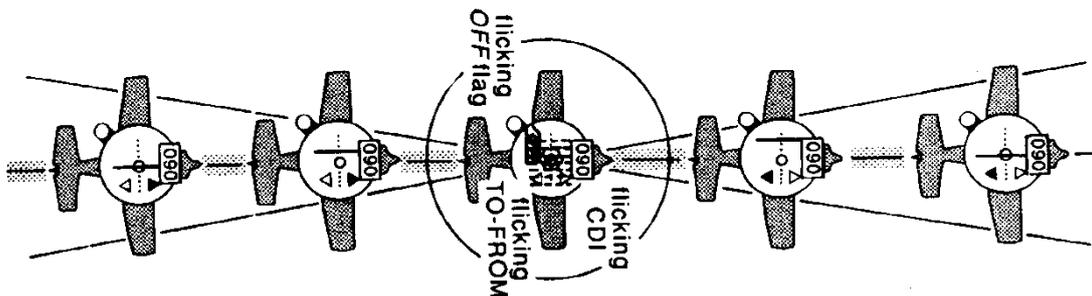


Fig. 12.20 - Passagem acima da estação VOR.

Na Fig. 12.21 vemos a posição da agulha do OBI na escala horizontal, quando o avião não se encontra sobre o radial seleccionado. Neste exemplo o avião sobrevoa o radial 064 mas tem 070 seleccionado. A agulha fica deslocada 3 pontos para a *direita* ( $3 \times 2^0$ ), porque a agulha indica a posição do radial escolhido em relação ao avião, que se pode imaginar no centro da escala. Na navegação de afastamento da estação (QDR), quando a agulha fica à direita, temos de ajustar o rumo para a direita, porque é aí onde se encontra o radial seleccionado. Também neste caso, a indicação do CDI não depende do rumo momentâneo do avião, só da posição em relação ao radial escolhido. Note que em muitos OBIs o primeiro ponto de direita e o primeiro de esquerda são representados por um círculo que corresponde a  $\pm 2^0$ .

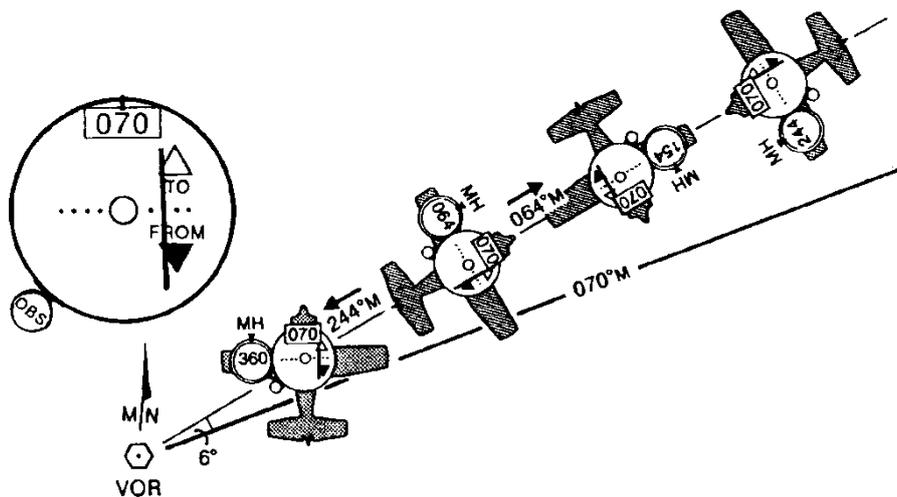


Fig. 12.21 - Indicação do CDI.

Tendo determinado qual o radial da estação VOR, temos uma linha de posição (magnética). Determinando outra linha (de um outro VOR ou com ajuda de um NDB ou do equipamento DME) temos um fixo. Muitos aviões têm dois OBIs instalados para facilitar o uso de dois VORs. Na preparação da viagem é às vezes útil determinar previamente os radiais em vários pontos da viagem para controlar depois o progresso.

O procedimento para interceptar um QDM desejado é o seguinte.

- Determinar o QDM actual, centrando o CDI-TO.
- Seleccionar no OBI o complemento ( $\pm 180^\circ$ ) do radial pretendido porque vamos voar *para* a estação.
- Voltar para um rumo de intercepção, que tem de ser na direcção da linha do QDM pretendido.
- Esperar que o CDI fique centrado (TO) e voltar para o rumo correspondente ao QDM pretendido.

Exemplo: O piloto quer interceptar o QDM 190. A posição inicial é no radial 050, por isso o piloto determina o QDM actual 230-TO. Depois selecciona no OBI 190. Neste exemplo o piloto escolhe um rumo de intercepção de 280 (Fig. 12.22). Quando o CDI centrar (ou de facto um pouco antes) volta para o rumo 185, correspondente ao novo QDM 190, tendo em conta um abatimento de  $5^\circ$ .

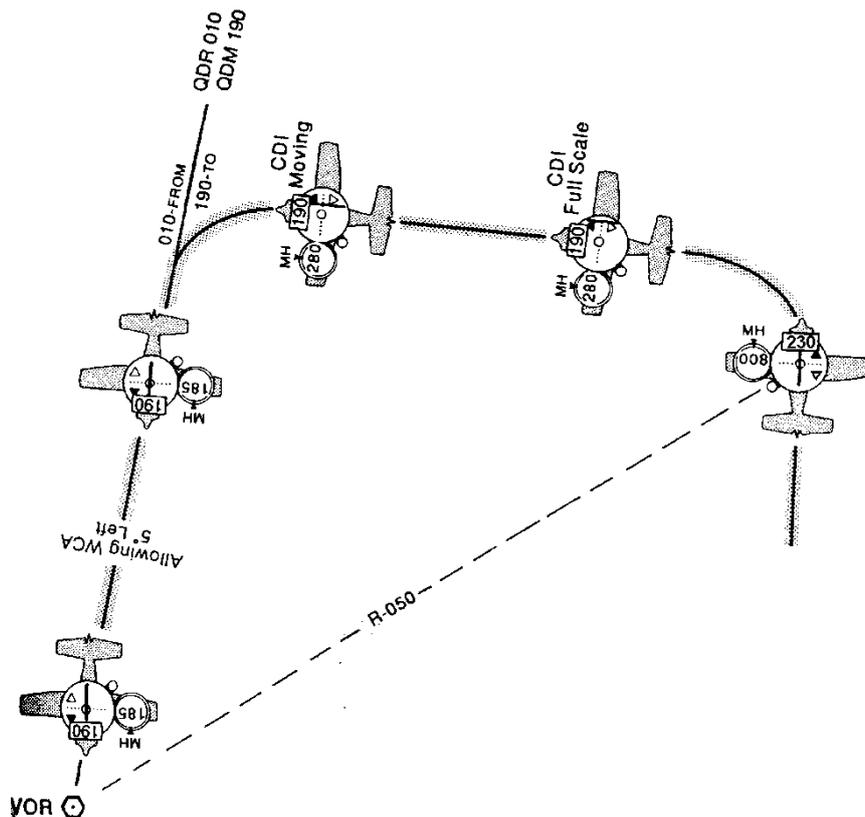


Fig. 12.22 - Interceptação de um QDM de um VOR.

Para interceptar um QDR, segue-se os seguintes passos.

- Determinar o QDR actual, centrando o CDI-FROM.
- Seleccionar no OBI o radial pretendido.
- Voltar para um rumo de intercepção, que tem de ser na direcção para a linha do QDR pretendido.
- Esperar que o CDI fique centrado (FROM) e voltar para o rumo correspondente ao QDM pretendido.

Exemplo: O piloto quer interceptar o QDR 090. A posição inicial é no radial 170, CDI actual 170-FROM. Depois selecciona no OBI 090. Neste exemplo o piloto escolhe um rumo de intercepção de 030 (Fig. 12.23). Quando o CDI centrar (ou de facto um pouco antes) volta para o rumo 080, correspondente ao novo QDR 090, tendo em conta um abatimento de  $10^\circ$ .

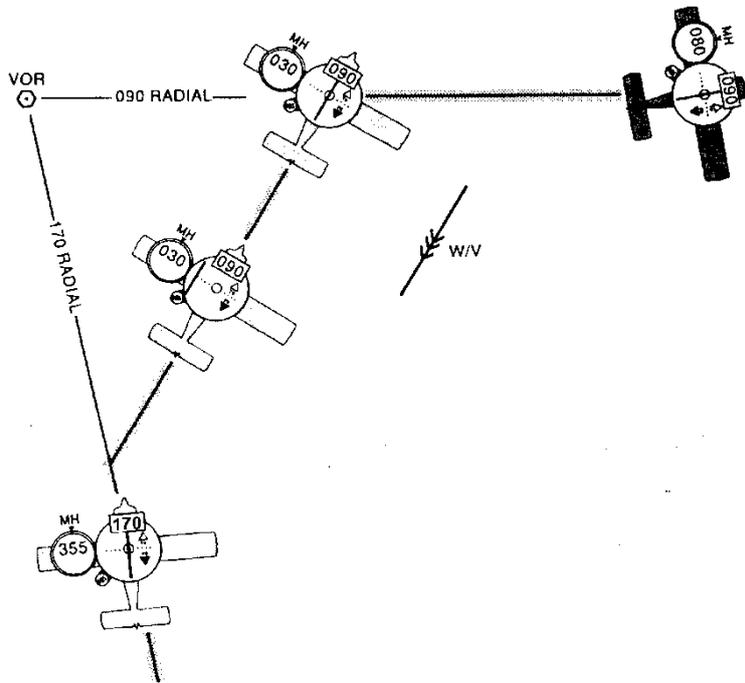


Fig. 12.23 - Intercepção de um QDR de um VOR.

O tracking até uma estação VOR consiste em seleccionar o complemento do radial ( $\pm 180^\circ$ ) e de voar com o OBI centrado (TO). Com esta selecção do VOR, quando a agulha ‘foge’ para a direita, temos de a ‘apanhar’ corrigindo para a direita. Diz-se que o OBI actua como *instrumento de comando* neste caso. Se o radial fosse seleccionado (FROM) em vez do complemento (TO), o contrário aconteceria, a agulha CDI ficaria do lado esquerdo mas nós teríamos de corrigir para a direita na mesma; o OBI não seria um instrumento de comando.

No tracking com vento lateral temos de apontar o avião a um rumo que é um pouco diferente do valor seleccionado no OBI. A diferença é o abatimento, que se pode determinar desta maneira. Em semelhança ao tracking com o ADF, podemos aplicar o método de duplicar o erro para corrigir uma eventual deriva. Se por exemplo a agulha do OBI se afastou 2 pontos para a esquerda ( $4^\circ$ ), voltamos  $8^\circ$  para a esquerda para ‘apanhar’ a agulha e assim o QDM. Depois, com a agulha já centrada, aplicamos  $4^\circ$  a esquerda como primeira estimativa do abatimento.

Para o tracking de afastamento da estação (QDR) selecciona-se o radial (FROM). Neste caso, o instrumento é também de comando. As considerações em relação ao vento e ao método de corrigir a deriva correspondem ao caso anterior.

Às vezes, o instrumento do VOR é um HSI (“Horizontal Situation Indicator” = indicador de situação horizontal), que combina um gyro direccionado com o OBI, como se pode ver na Fig. 12.24.



Fig. 12.24 - O HSI com o botão HDG para a escala do gyro; o botão COURSE é o OBS.

Quando a estação VOR é operacional, os radiais são transmitidos com uma precisão de  $\pm 1,4^0$ , o que resulta numa precisão de  $\pm 4^0$  do sistema todo ( $\pm 1^0$  no Doppler VOR). A presença de reflexões e refrações por obstáculos e terreno pode introduzir erros adicionais. Obviamente, um VOR só deve ser utilizado quando o sinal de identificação fôr verificado e quando a janela no OBI não indica OFF (ou NAV). O alcance do VOR, como de qualquer transmissão VHF, é limitado pela curvatura da esfera terrestre porque se trata de transmissões de linha de vista. Aproximadamente, o alcance é dado pela relação

$$\text{alcance [NM]} = \sqrt{1.5 \times \text{altitude da estação [ft]}} + \sqrt{1.5 \times \text{altitude do avião [ft]}} .$$

#### 12.4 DME

O DME (“Distance Measuring Equipment” = equipamento de medida de distâncias) fornece ao avião a distância em milhas náuticas até à estação. A maior parte das estações DME está colocada na mesma posição de uma estação VOR ou de um Localizer (ver a discussão do ILS mais em frente). A bordo do avião equipado com DME, escolhendo a frequência VHF do VOR ou do Localizer, escolha também *automaticamente* a frequência UHF (entre 962 e 1213 MHz) ‘gêmea’ do DME correspondente. Isto evita erros. O equipamento no cockpit fornece em alguns modelos não só a distância num mostrador digital mas também a velocidade e o tempo até à estação. A velocidade extraída das distâncias só corresponde à velocidade terreno se se voa directamente para a estação no QDM (ou no QDR). Além disso, a distância medida é uma distância inclinada e não horizontal (“slant range”), como indica a Fig. 12.26. O mesmo tipo de consideração se aplica quando voa *abeam* da estação.



Fig. 12.25 – Componentes do DME a bordo do avião: antena e instrumento no painel.

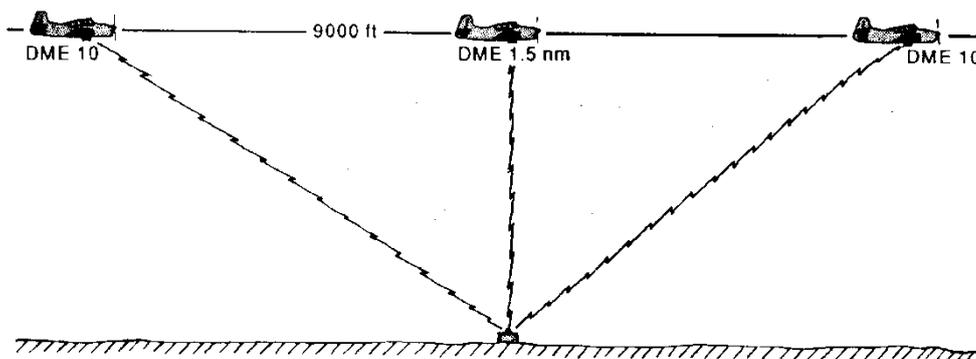


Fig. 12.26 - As indicações do DME.

O princípio de funcionamento do DME baseia-se na medida, pelo equipamento instalado no avião, do tempo que passa entre a emissão de um sinal de interrogação (emitido pelo equipamento a bordo), e a chegada da resposta emitida de um *transponder* (transmissor respondedor) colocado na estação terrestre. O transponder da estação DME pode servir 100 aviões ao mesmo tempo e o sistema tem salvaguardas para evitar que o sinal interrogador de um avião possa causar uma indicação de distâncias incorrecta num outro.

O DME fornece uma *linha de posição circular* à volta da estação. Em conjunto com uma outra linha de posição, por exemplo do VOR associado, temos um fixo.

A precisão da estação é  $\pm 0,1$  NM, do sistema todo é de  $0,25$  NM + 1,25% da distância medida ( $\pm 0,2$  NM para aviões novos a partir de 1989). Tem de considerar um erro adicional devido à distância ser inclinada.

O alcance do DME é limitado pela linha de vista e a relação dada acima na discussão do VOR é válida.

## 12.5 ILS

O ILS (“Instrument Landing System” = sistema de aterragem com instrumentos) permite uma aproximação de precisão, porque fornece informação precisa da linha de voo ideal para a aterragem (*glidepath*) nos planos vertical e horizontal. No cockpit, é costume a apresentar esta informação num instrumento VOR com uma agulha horizontal adicional (Fig. 12.28). Neste caso, selecciona-se no receptor a frequência do *Localizer* (LLZ) em vez de um VOR. Na utilização do instrumento para efeitos do ILS o OBS não tem funcionalidade. No glidepath as agulhas estão centradas. As escalas indicam o desvio: os pontos na escala horizontal correspondem neste caso a  $0,5^{\circ}$  (em vez dos  $2^{\circ}$  no VOR). A escala vertical é ainda mais sensível, cada ponto corresponde a  $0,14^{\circ}$ . O ILS no cockpit é um instrumento de comando, porque temos de dirigir o avião na direcção das agulhas, se essas não ficarem centradas



Fig. 12.27 – A antena do *Localizer* (à esquerda) e as antenas do VOR (à direita).



Fig. 12.28 - O instrumento do ILS.

Podemos imaginar que o equipamento no solo define dois planos, e a linha de intersecção destes planos define a linha de voo ideal, de alinhamento perfeito com o eixo longitudinal da pista e com um declive de normalmente  $3^{\circ}$  (Fig. 12.29). Além disso, existem os *marker beacons* cujos sinais são detectados quando o avião passa por cima deles, dando assim informação sobre a distância até à soleira da pista. O equipamento no chão transmite na frequência VHF, para a localização lateral, dois sinais direccionais distintos, um de 90 Hz do lado esquerdo e outro de 150 Hz do lado direito da linha de aproximação (Fig. 12.30). O equipamento a bordo extrai daí a informação da posição lateral. A posição vertical é detectada a partir da transmissão de um outro emissor que emite na frequência VHF um outro par de sinais direccionais, um de 90 Hz para cima da linha de aproximação e outro de 150 Hz para baixo (Fig. 12.31). O piloto deve levar em conta que reflexões no chão podem produzir imagens do caminho certo a ângulos múltiplos do original (para  $3^{\circ}$  seriam  $6^{\circ}$ ,  $9^{\circ}$ , etc.). Para evitar estes ‘fantasmas’ o piloto deve-se aproximar no início por debaixo da linha de aproximação.

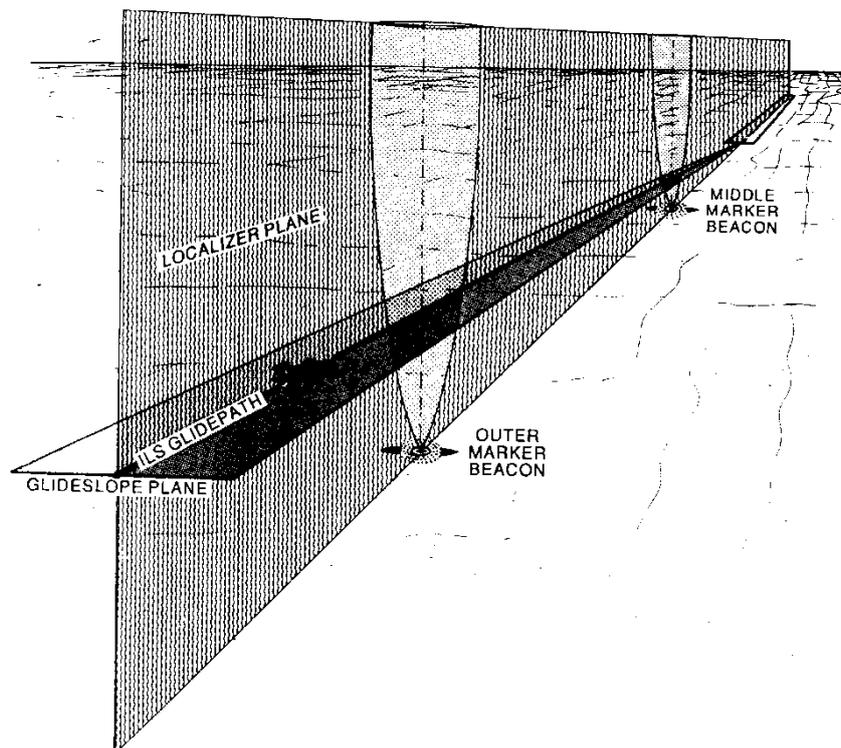


Fig. 12.29 - A linha de aproximação.

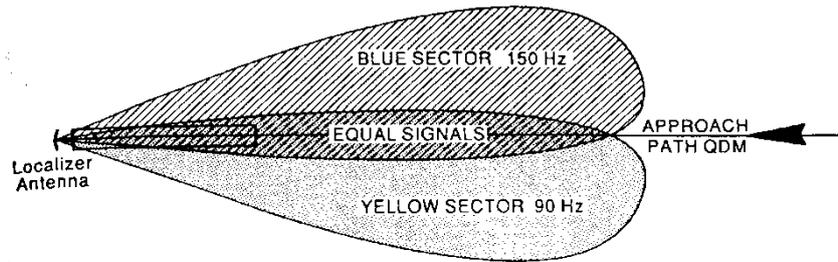


Fig. 12.30 - Os sinais de orientação horizontal.

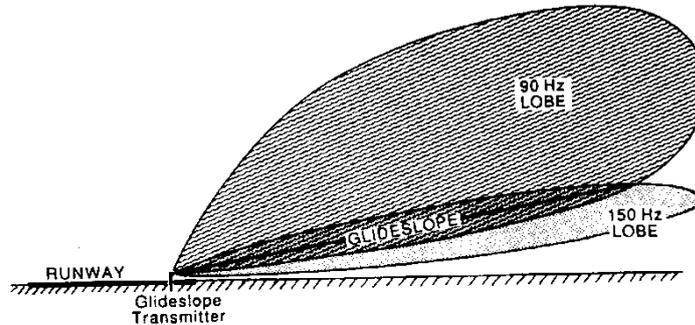


Fig. 12.31 - Os sinais de orientação vertical.

Os markers transmitem um sinal verticalmente que só pode ser captado acima do emissor. Existem o OM (“Outer Marker” = marcação exterior) a entre 3 e 7 NM da pista, o MM (“Middle Marker” = marcação média) a 0,6 NM da soleira da pista, e às vezes também um IM (“Inner Marker” = marcação interior) perto da soleira. Na passagem do avião iluminam-se lâmpadas correspondentes (azul para OM, amarela para MM, branca para IM). Existem aeródromos com equipamento DME em vez dos Markers.



Fig. 12.32 – Indicações dos markers.

### 12.6 Radar e transponder

O radar (“Radio Detection and Ranging” = detecção e medida de distâncias por rádio) consiste de um *transceiver* (transmissor-receptor) que emite um pulso numa certa direcção e recebe o reflexo deste sinal de um objecto da mesma direcção. O equipamento electrónico calcula a distância a partir do tempo de ida e volta do sinal com a fórmula

$$\text{distância} = (\text{velocidade da luz} \times \text{tempo}) / 2 .$$

O conhecimento da direcção e da distância do objecto detectado é um fixo. A antena do radar (Fig. 12.33) roda para vigiar todas as direcções e a posição dos objectos detectados é representada num ecran, no qual a posição do radar se encontra no centro. Em radars modernos aparece, sobreposta no

ecran, outra informação de interesse aeronáutico (Fig. 12.34), como espaços aéreos, aeródromos etc., e também informação sobre os aviões (códigos squawk etc.).



Fig. 12.33 - Uma antena de radar com SSR.

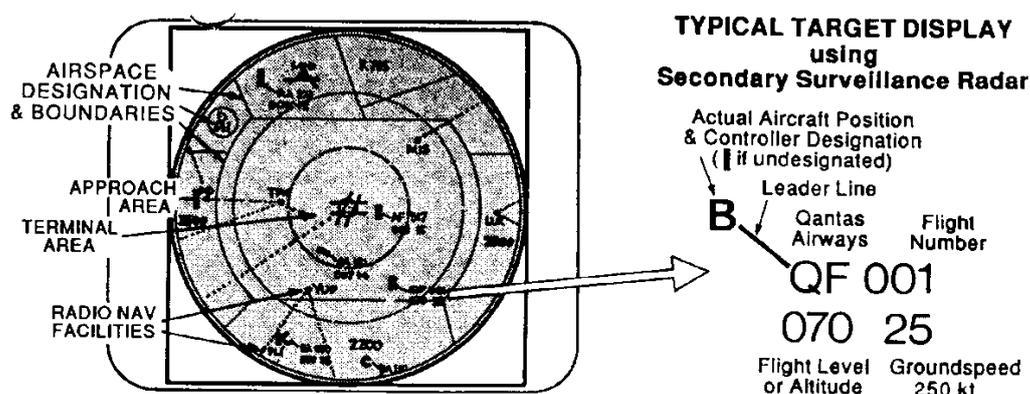


Fig. 12.34 - Um ecran de Radar.

O piloto pode pedir a sua posição actual ou pode ser instruído sobre o novo rumo a voar (*vectoring*). Além do rádio de comunicação, não é necessário outro equipamento a bordo da aeronave.

A precisão do radar é de 0,5 NM ou menos (radar de aproximação). Eventuais variações do índice de refração do ar desviam o caminho do sinal radar da linha reta e introduzem erros. Nuvens e reflexões do sinal podem produzir imagens fantasma.

O alcance do radar é determinado pela linha de vista. O alcance máximo do radar é calculado supondo que o avião voa baixo (altitude do avião zero):

$$\text{alcance [NM]} = \sqrt{1.5 \times \text{altitude da estação [ft]}} .$$

Objectos metálicos reflectem particularmente bem os sinais do radar e são por isso facilmente detectados. Mas existem também reflexões do terreno e até de nuvens que causam perturbações à operação do radar. Inventou-se então o sistema SSR (“Secondary Surveillance Radar” = radar de vigilância secundário, o radar normal é o primário). Neste sistema existe uma antena adicional (vê-se no topo da antena grande radar na Fig. 12.33), que emite sinais do *interrogator*. A bordo do avião é instalado um *transponder* (não confundir este transponder com o transponder instalado numa estação DME). Depois de receber o sinal do interrogador, o transponder manda automaticamente um código de identificação. Este sinal chega com muito mais potência à antena Radar que sinais reflectidos; além disso é um sinal específico, e é mais fácil filtrar perturbações.

O transponder no cockpit (Figs. 12.35 e 12.36) tem em geral quatro botões para introduzir um código de quatro algarismos. O piloto recebe o código a introduzir do ATC (chamado *Squawk*). No modo SBY (*standby*), selecciona o código e liga o modo ON. É este código que identifica o avião no ecrã do controle Radar. O controle pode pedir um *Squawk Ident*, que é accionado premindo o botão IDENT. Neste caso é emitido um sinal especial, e no ecrã do controle Radar aparece um símbolo especial para identificar definitivamente o avião. Transponders modernos tem um altímetro acoplado e transmitem também a altitude pressão do avião, com o botão na posição ALT. Diz-se que o transponder trabalha neste caso no modo C (e no modo A, botão em ON sem transmitir altitudes).

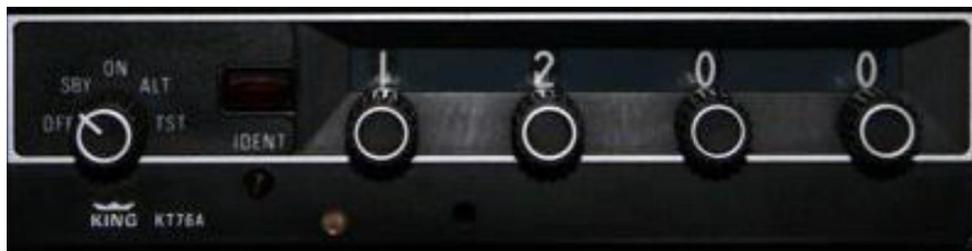


Fig. 12.35 – Um transponder com modos A e C.

Transponders com modo S transmitem, além da altitude (modo C), também informação sobre a aeronave. Um número de série único é atribuído ao transponder pelas autoridades para identificar o avião. O número de registo ou callsign podem ser programados.

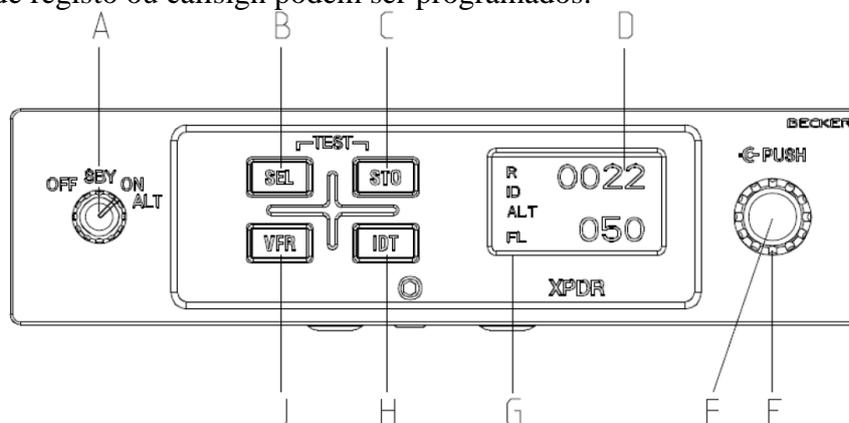


Fig. 12.36 - Um transponder com modos A e S.

Existem códigos squawk especiais para certas situação que o piloto deve introduzir:

- 7700 perigo (Mayday)
- 7600 falha de comunicações
- 7500 interferência ilegal (Hijacking)
- 7000 voos não controlados.

## 12.7 Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

O GPS (“Global Positioning System” = sistema de localização global) é baseado num sistema de mais de 27 satélites em orbitas com altitude de 20180km, inclinadas em relação ao equador (Fig. 12.37), com período de 11h58min. O sistema foi lançado e é controlado pelo *US Department of Defense*, é então um sistema militar.

O receptor GPS calcula a posição a partir das informações de tempo e de posições emitidas pelos satélites ‘visíveis’ no momento. Como o tempo entre emissão e chegada dos sinais dos satélites depende da distância entre satélite e receptor, e conhecendo as posições momentâneas dos satélites, pode ser reconstruída a localização do receptor. Todos os modelos GPS podem indicar a localização da aeronave em três dimensões, isto é, longitude, latitude e altitude, dadas condições de recepção suficientes (pelo menos 4 satélites, com 3 satélites só se pode conhecer a posição em duas dimensões, longitude e latitude). Quanto mais satélites se recebe, tanto mais preciso é o resultado. A precisão aumenta com o número de satélites captados mas deteriora com constelação de satélites desfavorável. O instrumento indica o erro de posicionamento, a precisão pode atingir 15 m, com SBAS 3m. Com equipamento especializado que utiliza duas bandas de frequência pode atingir 30cm e com DGPS 1cm de precisão.

Variações da ionosfera alteram a velocidade de transmissão dos sinais e introduzem erros adicionais. Para não perder precisão devido a estas perturbações utiliza-se sistemas SBAS (“satellite-based augmentation system”), WAAS nos USA, EGNOS na Europa. Estações terrestres medem a transmissão de sinais através da ionosfera e calculam informação de correcção, que é transmitida por um sistema de satélites geostacionários e utilizada em receptores GPS. O sistema DGPS (“differential GPS”) recorre a estações terrestres de posição conhecida que transmitem sinais na banda 283.5-325 kHz para aumentar a precisão de posicionamento.

O sistema GPS trabalha na frequência de *microondas* (entre 1176,45 e 1575,42 MHz), a antena não capta sinais dentro ou perto de edifícios, debaixo da folhagem de árvores ou mal colocada no avião. Como qualquer sistema, pode falhar. Não deve ser utilizado como o único sistema de navegação.

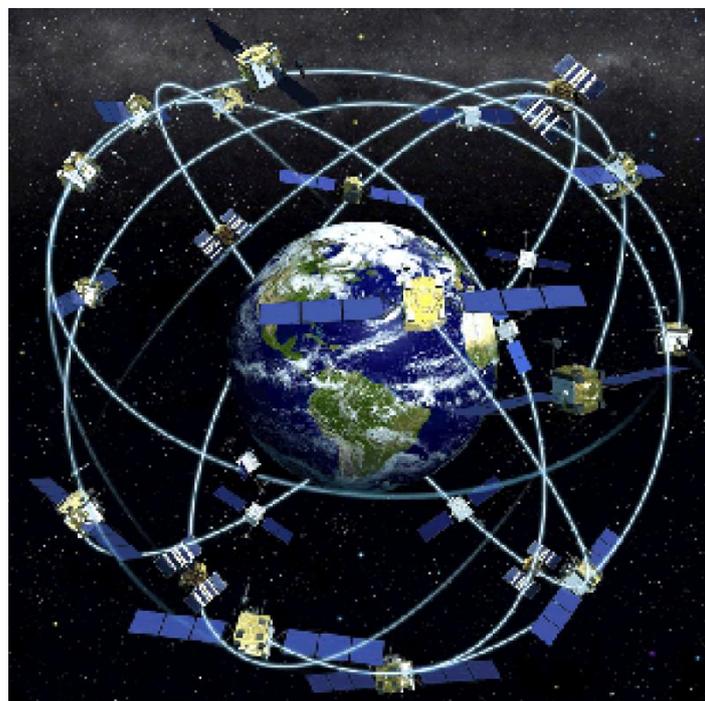


Fig. 12.37 - Os satélites do sistema GPS.

Outros GNSS são: GLONASS da Rússia, BeiDou da China e Galileo da EU que é o sistema com mais precisão, 1m no *open service* e 1cm no *high accuracy service*.

Estudemos um exemplo de um modelo aeronáutico portátil (Fig. 12.38). Neste modelo pode chamar várias ‘páginas’ com a tecla PAGE (Fig. 12.39). Dependente do modelo, um GPS pode incorporar bases de dados de aeródromos, VORs, NDBs, etc. e apresentar a posição e elevação do terreno numa carta electrónica incorporada.



Fig. 12.38 - Um receptor GPS.

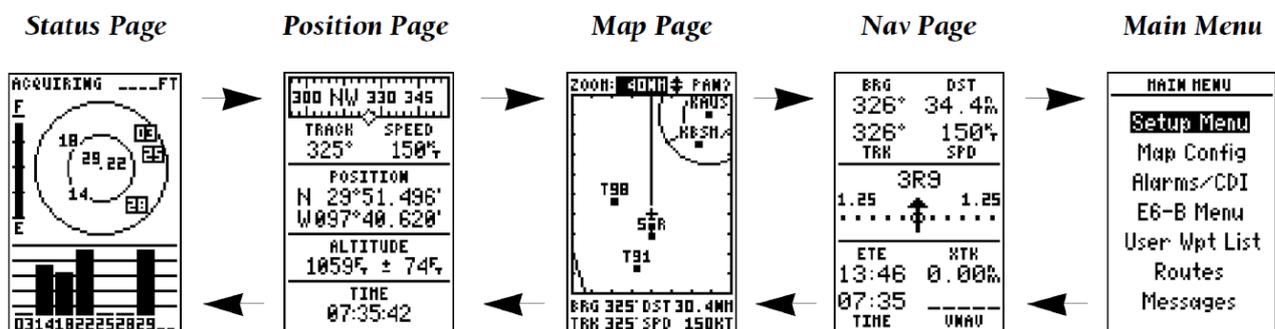


Fig. 12.39 - Páginas no ecrã de um GPS.

- **Status Page:** Indica a intensidade dos sinais recebidos dos satélites e o estado das pilhas.
- **Position Page:** Indica o caminho, a VT, a posição em latitude e longitude, a altitude e a precisão, e a hora.
- **Map Page:** Dá uma representação gráfica da posição da aeronave em relação a rádio-ajudas, espaços aéreos, pontos de rota (*waypoints*) e aeródromos, e indica a rota e a distância ao destino, o caminho e a VT.

- Nav Page: Indica a rota, a distância ao destino, o caminho, a VT. Uma escala indica o posicionamento em relação à rota e a seta mostra a direção do destino. Indica também o EET ao destino, o erro de rota, a hora e, eventualmente informação de navegação vertical.
- Main Menu: Página de escolha de outras opções. Em sub-menus pode ser definido se se quer por exemplo ver caminhos magnéticos ou verdadeiros, pode introduzir-se rotas e pontos de rota, calcular o vento (como conhece VT/camino e VAV/rumo), e ajustar outros parâmetros.

A tecla GOTO permite chamar informações sobre aeródromos e rádio-ajudas e escolher um destes pontos para navegar rumo a um novo destino. Por exemplo, veja uma lista dos 10 aeródromos mais próximos e obterá logo a nova rota até o aeródromo escolhido.

O sistema GPS trabalha na frequência de microondas e não pode captar satélites quando a antena está dentro ou perto de edifícios, debaixo da folhagem de árvores ou mal colocada no avião. E, como qualquer sistema, pode falhar. Por isso não deve ser utilizado como o único sistema de navegação, embora no futuro, a navegação aérea vai depender cada vez mais de sistemas com base nos GNSS e menos das rádio-ajudas discutidas antes.

## 12.8 Sinalização luminosa

Existem ajudas visuais que facilitam a descida correcta e o alinhamento com a pista (*glidepath*) na aterragem, em particular à noite, ou em caso de aproximação por instrumentos quando o avião sai das nuvens pouco antes da aterragem. A sinalização luminosa varia de aeródromo para aeródromo.

- O eixo longitudinal da pista pode ser marcado com luzes de aproximação brancas já bastante antes do começo da pista.
- A soleira da pista é indicada com uma linha de luzes verdes, perpendicular ao eixo.
- Luzes brancas (por vezes amarelas ao longo do fim da pista) iluminam a margem esquerda e direita da pista.
- Caso existir sinalização luminosa da linha central da pista, esta consiste de luzes brancas desde o início até 900m antes do fim da pista, de luzes alternadamente brancas e vermelhas nos próximos 600m, e de luzes vermelhas nos últimos 300m.
- Uma linha perpendicular de luzes vermelhas marca o fim da pista.

Obstáculos na vizinhança do aeródromo têm luzes vermelhas no topo como medida de segurança. O aeródromo pode ser identificado pelo código Morse emitido pela luz de identificação. A sinalização luminosa dos aviões à noite permite estimar a posição e o rumo de outro avião, observando as luzes de navegação da esquerda (vermelha) e da direita (verde).

O *VASIS* (Visual Approach Slope Indicator System) e o *PAPI* (Precision Approach Path Indicator) são sistemas que facilitam a aproximação para a aterragem no ângulo de descida correcto de em geral  $3^{\circ}$  mais ou menos  $\frac{1}{2}^{\circ}$  (*glideslope*). O alcance útil destes sistemas é por volta de 4 NM, e o ângulo de cobertura estende-se até  $10^{\circ}$  ou  $15^{\circ}$  horizontais do eixo longitudinal da pista.

O *VASIS* consiste de duas barras laterais de luzes no lado esquerdo ou nos dois lados da pista. Na aproximação correcta vê-se a barra de luzes mais próxima (a que aparece em baixo) emitir luz branca, e a mais afastada (a aparecer em cima) emitir luz vermelha. Numa aproximação alta demais vê-se as duas barras em branco, e numa aproximação demasiado baixa as duas em vermelho (Fig. 12.40). Em aeródromos que aceitam aviões grandes o *VASIS* tem uma terceira barra; neste caso, aviões pequenos e médios dirigem-se pela indicação das primeiras duas barras e os grandes utilizam a segunda e terceira barra, porque o piloto tem uma posição mais alta em relação ao trem de aterragem.

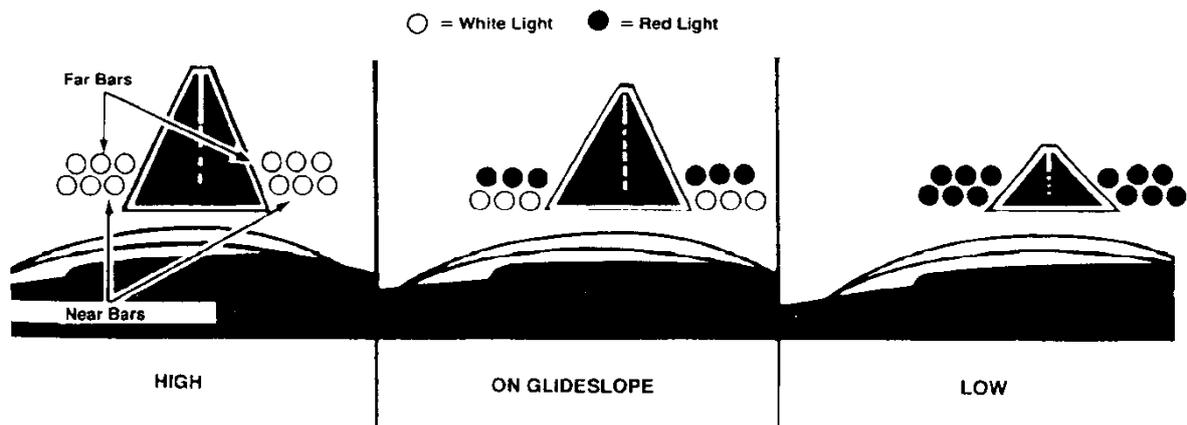


Fig. 12.40 – O VASIS. Os círculos pretos representam luz vermelha, os brancos luz branca.

O PAPI consiste numa única barra lateral de quatro luzes a cada lado da pista (existem também PAPIs montados de um lado só). Na aproximação correcta as duas luzes exteriores apresentam-se de cor branca e as duas interiores de cor vermelha. As cores mudam sucessivamente para o branco no caso de aproximação alta, ou para o vermelho no caso de aproximação baixa (Fig. 12.41). Aviões grandes utilizam um segundo conjunto PAPI montado mais para frente (aparecendo acima do primeiro PAPI). No *Abbreviated PAPI* (A-PAPI, APAPI) a barra só tem duas luzes em vez de quatro.

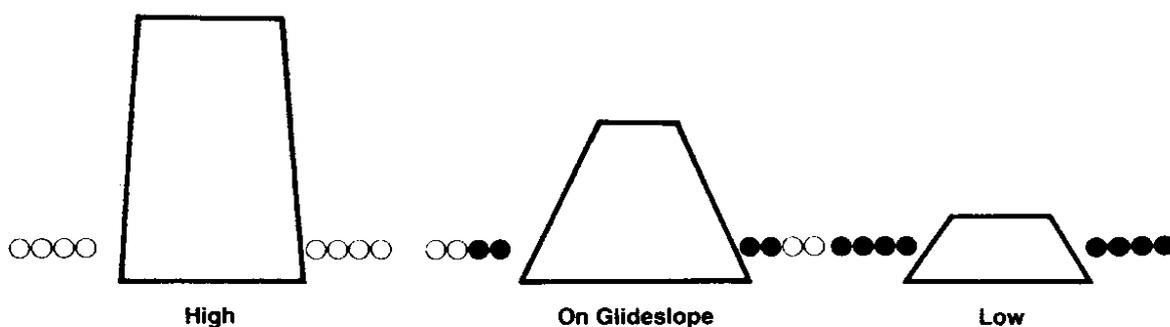


Fig. 12.41 – O PAPI. Os círculos pretos representam luz vermelha, os brancos luz branca.

O *T-VASIS* exibe um T branco invertido na aproximação alta, uma linha horizontal branca na aproximação correcta, um T branco normal na aproximação baixa que se torna vermelho quando se desce ainda mais.

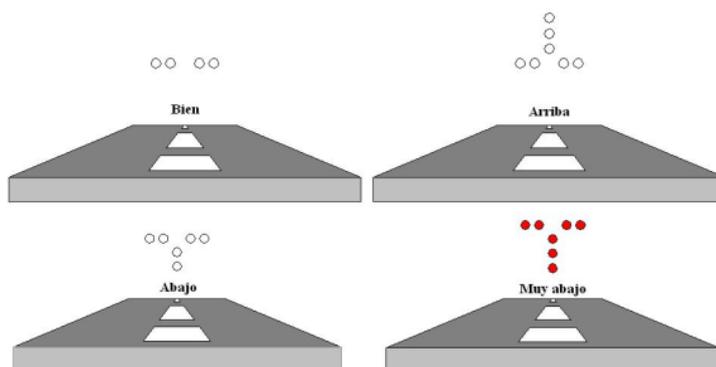


Fig. 12.42 – T-VASIS.

### 13. Bibliografia

Na preparação deste curso e dos diagramas foram consultadas e utilizadas principalmente as seguintes publicações:

*The Air Pilot's Manual*, Trevor Thom (Airlife Publishing, England)

*Manual of Flight*, Cessna Pilot Centre (Cessna, England)

*Private Pilot Studies*, Taylor, Parmer and Underdown (Poyser, England)

*Navegação*, Força Aérea Portuguesa (DINST/M 398-2, Portugal)

*E6-B8 flight computer instruction manual* (Aero Product Research, USA)

*GPS90 Personal Navigator Owner's Manual & Reference* (Garmin, USA)

*Tactical Pilotage Charts* (Defense Mapping Agency, USA)

*Low Altitude Enroute Charts* (Jeppesen, USA)

*JAA PPL Ground Training*, CD-ROMs (Transair Pilot Shop & Oxford Aviation Training)

*Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*, Federal Aviation Administration (FAA-H-8083-25A)

Os meus agradecimentos vão à Doutora Brigitte Hiller por me ter ajudado a corrigir um grande número de erros de português, ao Sr. Comandante Vasco Sequeira por me ter transmitido o seu entusiasmo e parte dos seus conhecimentos de aviação, e ao Sr. Comandante António Varela por me ter dado a oportunidade de escrever este manual.

## 14. Pontos de estudo

### Navegação Aérea

Curso PPA

Teste n° 1

Nome:	Data:	Classificação:
-------	-------	----------------

1- A rotação da Terra à volta do seu próprio eixo faz com que todos os dias o Sol

- a) nasça na Europa antes de nascer na América
- b) nasça na América antes de nascer na Europa
- c) nasça simultâneamente na Europa e na América
- d) nasça no Polo Norte antes de nascer no Polo Sul.

2- Os meridianos são

- a) círculos máximos que unem os Polos
- b) círculos menores paralelos ao Equador
- c) semicírculos máximos que unem os Polos
- d) semicírculos menores paralelos ao Equador.

3- Os paralelos de latitude são

- a) círculos traçados na Terra cujo plano passa pelo centro da Terra
- b) círculos perpendiculares ao Equador
- c) círculos cujo raio é maior que o raio de um círculo máximo
- d) círculos menores paralelos ao Equador.

4- Uma linha loxodrómica

- a) é a distância mais curta entre dois pontos na superfície da Terra
- b) cruza todos os meridianos segundo o mesmo ângulo
- c) é um arco de um círculo máximo
- d) é qualquer linha recta traçada numa carta.

5- Uma linha ortodrómica

- a) é uma linha de rumo constante
- b) é um arco de um círculo menor
- c) é uma linha de elevação do terreno constante
- d) coincide com a loxodrómica quando os dois pontos extremos se encontram no mesmo meridiano.

6- A projecção Mercator apresenta

- a) os paralelos de latitude como linhas rectas paralelas igualmente espaçadas
- b) os meridianos como linhas rectas desigualmente espaçadas
- c) as loxodrómicas como linhas rectas
- d) os paralelos de latitude como círculos concêntricos.

7- A projecção Conforme Lambert

- a) é uma projecção cónica secante
- b) tem o ponto de projecção no Polo oposto ao cone de projecção
- c) apresenta os meridianos como círculos concêntricos
- d) é utilizada principalmente para a navegação perto dos Polos geográficos.

8- Uma projecção estereográfica polar

- a) é utilizada principalmente para a navegação perto do Equador
- b) é uma projecção num plano tangente ao Polo
- c) é uma projecção cilíndrica tangente ao Polo
- d) apresenta uma loxodrómica como linha recta.

9- O símbolo  numa carta aeronáutica indica

- a) a localização de uma rádio-ajuda
- b) um aeródromo militar
- c) um aeródromo de emergência ou sem facilidades
- d) a posição de um obstáculo.

10-Na carta 1/500 000 a altitude máxima dentro do rectângulo que contém Aveiro é

- a) 1200 pés
- b) 120 pés
- c) 213 metros
- d) 213 pés.

Nome:	Data:	Classificação:
-------	-------	----------------

1- Numa carta 1/500 000 a isogónica de  $7^{\circ}W$  passa praticamente por Aveiro. Na margem da carta encontra-se ainda a indicação “Lines of equal magnetic variation for 1985. Annual rate of change 11’ decrease”. A declinação em 1997 de Aveiro é, a uma precisão de um grau,

- a)  $9^{\circ}$  Oeste
- b)  $5^{\circ}$  Oeste
- c)  $4^{\circ}$  Este
- d)  $6^{\circ}$  Oeste.

2- Um avião segue para Sul, rumo 180. Para alterar o rumo para Oeste, tem de fazer uma volta

- a) para a direita, rumo 270
- b) para a esquerda, rumo 090
- c) para a direita, rumo 090
- d) para a esquerda, rumo 270.

3- O valor angular entre o Norte Verdadeiro e o Norte Magnético chama-se

- a) inclinação
- b) variação
- c) desvio
- d) declinação.

4- O erro de volta da bússola magnética tem origem na existência da

- a) convergência
- b) deriva
- c) declinação
- d) inclinação.

5- O rumo verdadeiro de A para B é 351, mas tem de considerar uma deriva de  $4^{\circ}$  à esquerda. A declinação é  $7^{\circ}W$  e o desvio  $2^{\circ}E$ . O rumo da bússola é

- a) 350
- b) 000
- c) 346
- d) 002.

6- A voar de A para B o piloto mantém na bússola magnética a direcção 125, correspondente aos rumos magnético de 122 e verdadeiro 132. A declinação e o desvio são, respectivamente

- a)  $D=3^{\circ}W$  e  $d=10^{\circ}E$
- b)  $D=10^{\circ}W$  e  $d=3^{\circ}E$
- c)  $D=10^{\circ}E$  e  $d=3^{\circ}W$
- d)  $D=3^{\circ}E$  e  $d=10^{\circ}W$ .

7- 1 milha náutica corresponde a

- a) 1 grau de latitude
- b) 1 grau de longitude
- c) 1 minuto de latitude
- d) 1 minuto de longitude.

8- Utilizando a carta, qual é o rumo verdadeiro do aeródromo de Coimbra para o aeródromo de Aveiro?

- a) 338
- b) 342
- c) 068
- d) 158.

9- Utilizando a carta e o plotter, determinar a distância entre os aeródromos de Coimbra e de Aveiro:

- a) 37 NM
- b) 33 NM
- c) 65 NM
- d) 75 NM.

10- O antimeridiano de  $040^{\circ}\text{W}$  é

- a)  $040^{\circ}\text{E}$
- b)  $140^{\circ}\text{E}$
- c)  $220^{\circ}\text{W}$
- d)  $220^{\circ}\text{E}$ .

Nome:	Data:	Classificação:
-------	-------	----------------

1- O piloto é instruído para seguir um certo nível de voo (Flight Level). Depois de ajustar o altímetro,

- a) este indica altitudes acima do nível médio do mar
- b) este indica alturas acima do terreno
- c) este indica altitudes verdadeiras
- d) a janela de Kollsman indica 1013,2 hPa.

2- O piloto voa de uma zona de temperaturas baixas para temperaturas altas, com ajuste e indicação do altímetro fixos. A altitude verdadeira

- a) aumenta
- b) diminui
- c) fica constante
- d) é igual à altitude densidade.

3- A atmosfera standard (ISA) considera

- a) entre 0 e 36 000 pés de altitude um aumento da temperatura de 1,98<sup>o</sup>C por 1000 pés
- b) entre 0 e 36 000 pés de altitude uma diminuição da temperatura de 1,98<sup>o</sup>C por 1000 pés
- c) entre 0 e 18 000 metros de altitude uma diminuição da temperatura de 1,98<sup>o</sup>C por 1000 metros
- d) entre 0 e 36 000 pés um aumento da temperatura de 1,98<sup>o</sup>F por 1000 pés.

4- A atmosfera standard (ISA) considera

- a) entre 0 e 36 000 pés de altitude uma diminuição da pressão de 1 hPa por 60 pés
- b) entre 0 e 36 000 pés de altitude um aumento da pressão de 1 hPa por 60 pés
- c) entre 0 e 18 000 pés de altitude uma diminuição da pressão de 1 hPa por 30 metros
- d) a partir de 18 000 pés de altitude uma diminuição de 1 hPa por 60 pés

5- Dadas as condições do vento o piloto-navegador calcula o rumo de maneira a corrigir a influência do vento para seguir a rota desejada. O ângulo de correção entre a rota e o rumo, medido a partir da rota, chama-se

- a) abatimento
- b) deriva
- c) desvio
- d) ângulo de convergência.

6- Depois de 20 NM voadas, constata que se afastou da rota de 3 NM para a direita. A deriva é de

- a) 9<sup>o</sup>d
- b) 18<sup>o</sup>d
- c) 3<sup>o</sup>e
- d) 6<sup>o</sup>e.

7- Voando num rumo inicial 060 encontra uma nuvem cumulonimbus no caminho. Para a contornar escolhe o novo rumo 120 durante 10 min. Depois segue durante 10 min no rumo 000 para cruzar a rota e resumir o rumo inicial. O ETA

- a) não sofre alteração

- b) é diminuído por 20 min
- c) aumenta por 10 min
- d) aumenta por 20 min.

8- Nas previsões meteorológicas, a direcção do vento refere-se

- a) à direcção verdadeira para a qual sopra o vento
- b) à direcção magnética para a qual sopra o vento
- c) à direcção magnética da qual sopra o vento
- d) à direcção verdadeira da qual sopra o vento.

9- O piloto voa de uma região de alta pressão para uma depressão, a um nível de voo (FL) constante. A altitude verdadeira

- a) é proporcional à VAV
- b) aumenta
- c) diminui
- d) fica constante.

10- O velocímetro do avião

- a) indica a VAV
- b) utiliza as pressões do tubo pitot e da tomada estática
- c) indica a VAC
- d) indica a VT.

Nome:	Data:	Classificação:
-------	-------	----------------

1- Vai descolar da pista 17/35 com um vento à superfície de 060/15KT. A componente de vento de frente é de

- a) 5KT
- b) 10KT
- c) 12KT
- d) 0KT.

2- Pretende voar uma rota verdadeira de 125; a sua VAV é de 158KT, o vento é de 080/15KT. Os valores de VT, abatimento e Rv (rumo verdadeiro) serão, respectivamente,

- a) 147KT, 4<sup>o</sup>d, 129
- b) 158KT, 4<sup>o</sup>e, 129
- c) 138KT, 5<sup>o</sup>d, 121
- d) 147KT, 4<sup>o</sup>e, 121.

3- Dados: VAV=148KT, Cv=232, V/V=180/36KT. O Rv e a VT são, respectivamente,

- a) 221 e 122KT
- b) 246 e 138KT
- c) 243 e 166KT
- d) 222 e 173KT.

4- Dados: Cv=045, Rv=041, VAV=156KT, VT=140KT. O vento é

- a) 080/20KT
- b) 190/20KT
- c) 010/20KT
- d) 220/20KT.

5- Ao FL 100 (10 000') com uma OAT de 14<sup>o</sup>F e uma altitude calibrada de 10 000' a altitude verdadeira é de

- a) 11 500'
- b) 10 200'
- c) 9 800'
- d) 10 700'.

6- A altitude pressão é de 8000ft e a temperatura 15<sup>o</sup>C. A altitude densidade é

- a) 9800ft
- b) 6200ft
- c) 4000ft
- d) 8000ft.

7- Entre A e B a distância total é de 80NM e o rumo 090. Mas, ao fim de 35NM voadas verifica que se encontra 22km à esquerda do caminho planeado. As correções a fazer para *interceptar* a rota daí a 35NM e, depois, manter o rumo até B são, respectivamente,

- a) 40<sup>o</sup>d, depois 20<sup>o</sup>d
- b) 40<sup>o</sup>d, depois 20<sup>o</sup>e
- c) 40<sup>o</sup>e, depois 20<sup>o</sup>d
- d) 20<sup>o</sup>d, depois 40<sup>o</sup>e

8- Dados: VAC=118KT, altitude pressão 18 000', OAT=-15<sup>o</sup>C. A VAV é de

- a) 167KT
- b) 88KT
- c) 158KT
- d) 121KT.

9- Dados:  $C_v=225$ ,  $V/V=010/12KT$ ,  $V_T=100KT$ . O rumo verdadeiro e a VAV são, respectivamente,

- a) 221 e 110KT
- b) 229 e 91KT
- c) 229 e 100KT
- d) 221 e 91KT.

10-O seu Rb é 350 e tem de efectuar uma alteração de rumo de  $30^0$  para a sua direita durante 2min para evitar um obstáculo. Para que Rb deve voltar e durante quanto tempo antes de voltar ao Rb inicial?

- a) 320 durante 2min
- b) 350 durante 2min
- c) 360 durante 1min
- d) 050 durante 1min.

Nome:	Data:	Classificação:
-------	-------	----------------

1- Tenciona descolar de Coimbra o mais cedo possível no dia 20 de Setembro. Para isto tem de calcular a hora do nascer do Sol. Utilizar a tabela reproduzida nos apontamentos, supondo validade para o ano em questão. A localização é N40<sup>0</sup>10' W008<sup>0</sup>28'. A hora UTC é

- a) 0545Z
- b) 0445Z
- c) 0511Z
- d) 0619Z.

2- No dia 01 de Setembro quer aterrar antes do pôr do Sol em Lisboa, N38<sup>0</sup>46' W009<sup>0</sup>08'. A hora UTC é

- a) 1751Z
- b) 1908Z
- c) 1831Z
- d) 1728Z.

3- O piloto segue o caminho magnético 000. A linha seguida chama-se

- a) agónica
- b) isogónica
- c) ortodrómica
- d) loxodrómica.

4- Encontra-se na vizinhança de um aeródromo de altitude 500'. A altitude de transição definida aí é 4000'. O procedimento de navegação vertical é:

- a) utilizar níveis de voo "pares mais 500 pés" (FL45, FL65, FL85 etc.) acima dos 4000'
- b) utilizar o QNH dentro da camada de transição, nas subidas e nas descidas
- c) utilizar o QNH acima do nível de transição na descida
- d) utilizar na subida o QNH abaixo de 4000' e 1013,2 hPa acima de 4000' de altitude.

5- Planeia efectuar um voo no FL105, o que requer informação sobre o vento para calcular o abatimento a aplicar durante este voo. A carta de previsão do vento que escolhe é uma carta

- a) de superfície
- b) de 850 hPa
- c) de 700 hPa
- d) de 350 hPa.

6- A temperatura standard no FL105 é

- a) 15<sup>0</sup>C
- b) 22<sup>0</sup>F
- c) -56,5<sup>0</sup>C
- d) -15<sup>0</sup>C.

7- Vai seguir VFR no caminho magnético 199. Um nível de voo correcto é

- a) FL85
- b) FL95
- c) FL199
- d) FL60.

8- Qual é a quantidade de combustível necessária para descolar de um aeródromo situado a uma altitude pressão 1500' e com a temperatura do ar de 17<sup>0</sup>C, e para subir até o FL95, e qual é a distância percorrida e o tempo gasto durante a subida? Utilizar a tabela do Cessna 152 reproduzida nos apontamentos. Resposta:

- a) 1,8 US gal, 15 NM e 14 min
- b) 1,1 US gal, 3 NM e 2 min
- c) 2,5 US gal, 23 NM e 20 min
- d) 3,2 US gal, 21 NM e 19 min.

9- Em voo de cruzeiro no FL95, com a VAV de 100 nós e a temperatura exterior de 1<sup>0</sup>C, qual é o RPM, a percentagem de potência e o consumo horário? Utilizar a tabela do Cessna 152 reproduzida nos apontamentos. Resposta:

- a) 2400 RPM, 63% e 5,3 US gal por hora
- b) 2400 RPM, 68% e 5,6 US gal por hora
- c) 2400 RPM, 60% e 5,0 US gal por hora
- d) 2300 RPM, 60% e 5,1 US gal por hora.

10- Qual é a autonomia de um Cessna 152 que descola de Aveiro (altitude 26') e, depois de atingir o nível de cruzeiro, voa no FL95 com 65% da potência? O peso total na descolagem é 757 kg e o avião tem 93 litros nos depósitos. A temperatura é standard e é considerada uma reserva de 45 min. Utilizar a tabela reproduzida nos apontamentos. Resposta:

- a) 0421
- b) 0336
- c) 0251
- d) 0330

Nome:	Data:	Classificação:
-------	-------	----------------

1- Utiliza no seu Cessna 152, de peso total na decolagem de 1670 libras, a técnica de decolagem curta num aeródromo com a altitude pressão de 3500' e à temperatura de 30<sup>0</sup>F. A componente do vento de frente é 5 KT e a pista é alcatroada e seca. Qual é a distância total de decolagem? Utilizar a tabela reproduzida nos apontamentos. Resposta:

- a) 853 ft
- b) 1933 ft
- c) 1772 ft
- d) 1604 ft.

2- Vai aterrar no Cessna 152, técnica de aterragem curta, numa pista de relva (seca) na altitude pressão de 1000 pés. A temperatura é 0<sup>0</sup>C e não há vento. Utilizar a tabela reproduzida nos apontamentos. A distância de aterragem total é:

- a) 1394 pés
- b) 1718 pés
- c) 674 pés
- d) 1185 pés.

3- Um avião Cessna 172 é carregado da maneira seguinte (pesos em lbs e momentos em lbs x pol. / 1000): avião com óleo: peso 1446, mom. 54,6; combustível 20 gal; peso do piloto 110; peso dos passageiros de trás 400; peso da bagagem 120. Utilizar os gráficos reproduzidos nos apontamentos.

- a) Dado que o peso máximo permitido (2400 lbs) não é atingido, pode descolar.
- b) Não pode descolar por ficar fora do envelope.
- c) Pode descolar porque o momento máximo (112 lbs x pol / 1000) não é atingido.
- d) Pode descolar como voo VFR especial, submetendo um plano de voo FPL e tendo em conta a tabela do "most rearward CG" das velocidades de perda.

4- O piloto planeia um voo directo entre Cascais LPCS e Grândola, a baixa altitude (abaixo dos 2000'). Consultar a carta de navegação 1/500 000.

- a) Pode voar VFR sem restrições.
- b) Pode voar VFR, desde que sob controle ATC, tendo submetido um plano de voo.
- c) Em voo VFR, utiliza a regra semicircular.
- d) O voo não é possível, obriga a um desvio da linha de voo directa.

5- Está a voar num Cessna 152 com um peso total de 1670 libras e com o CG do avião na posição mais dianteira. Na volta para a final, utilizando um pranchamento de 30<sup>0</sup> e a posição de flaps de 10<sup>0</sup>, qual é a velocidade de perda? Consultar a tabela reproduzida nos apontamentos.

- a) 39 nós VAI
- b) 43 nós VAI
- c) 33 nós VAI
- d) 41 nós VAC.

6- O piloto planeia um voo VFR alto e aplica a regra semicircular. Para este efeito, tem de conhecer

- a) o caminho verdadeiro Cv
- b) o caminho magnético Cm
- c) o rumo magnético Rm
- d) o rumo da bússola Rb.

7- Utilizando a tabela da máxima razão de subida (Fig. 14.1), calcule o tempo, a distância e o combustível para subir dos 5000' para 10 000', com os seguintes elementos: peso total 2300 libras, temperatura 20<sup>0</sup>F acima da standard, e vento calmo.

- a) 22 minutos, 29 milhas náuticas, 4.8 galões
- b) 26 minutos, 34 milhas terrestres, 4.8 galões
- c) 17 minutos, 23 milhas terrestres, 2.2 galões
- d) 12 minutos, 16 milhas terrestres, 2.6 galões.

<b>MAXIMUM RATE-OF-CLIMB DATA</b>												
<b>GROSS WEIGHT POUNDS</b>	<b>AT SEA LEVEL &amp; 59°F</b>			<b>AT 5000 FT. &amp; 41°F</b>			<b>AT 10,000 FT. &amp; 23°F</b>			<b>AT 15,000 FT. &amp; 5°F</b>		
	<b>IAS MPH</b>	<b>RATE OF CLIMB FT/MIN</b>	<b>GAL. OF FUEL USED</b>	<b>IAS MPH</b>	<b>RATE OF CLIMB FT/MIN</b>	<b>FROM S.L. FUEL USED</b>	<b>IAS MPH</b>	<b>RATE OF CLIMB FT/MIN</b>	<b>FROM S.L. FUEL USED</b>	<b>IAS MPH</b>	<b>RATE OF CLIMB FT/MIN</b>	<b>FROM S.L. FUEL USED</b>
<b>2300</b>	<b>82</b>	<b>645</b>	<b>1.0</b>	<b>81</b>	<b>435</b>	<b>2.6</b>	<b>79</b>	<b>230</b>	<b>4.8</b>	<b>78</b>	<b>22</b>	<b>11.5</b>
<b>2000</b>	<b>79</b>	<b>640</b>	<b>1.0</b>	<b>78</b>	<b>610</b>	<b>2.2</b>	<b>76</b>	<b>380</b>	<b>3.6</b>	<b>75</b>	<b>155</b>	<b>6.3</b>
<b>1700</b>	<b>77</b>	<b>1085</b>	<b>1.0</b>	<b>76</b>	<b>825</b>	<b>1.9</b>	<b>73</b>	<b>570</b>	<b>2.9</b>	<b>72</b>	<b>315</b>	<b>4.4</b>

**NOTES:** 1. Flaps up, full throttle, mixture leaned for smooth operation above 3000 ft.  
 2. Fuel used includes warm up and take-off allowance.  
 3. For hot weather, decrease rate of climb 20 ft./min. for each 10°F above standard day temperature for particular altitude.

Fig. 14.1 - Exemplo de uma tabela da máxima razão de subida.

8- Está voando no rumo magnético 090, sem vento. Com o OBS seleccionou 200 para centrar o CDI no OBI, com a indicação FROM. Se quer voar no QDM para a estação VOR tem de voltar

- a) 70<sup>0</sup> pela esquerda
- b) para o rumo 200
- c) 110<sup>0</sup> pela esquerda
- d) 110<sup>0</sup> pela direita.

9- Está voando no rumo 280 magnético, sem vento. O ADF indica 300. Para voar no QDR do NDB, tem de voltar

- a) 20<sup>0</sup> pela esquerda
- b) 20<sup>0</sup> pela direita
- c) para o rumo magnético 040
- d) para o rumo magnético 300.

10-O seu GPS indica a velocidade SPD 90KT. Trata-se da

- a) VAV
- b) VAC
- c) VT
- d) VAI.

## Soluções

Problema	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Teste 1	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	<b>B</b>	<b>c</b>	<b>a</b>
Teste 2	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>d</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>c</b>	<b>A</b>	<b>b</b>	<b>b</b>
Teste 3	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>c</b>	<b>b</b>
Teste 4	<b>a</b>	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>a</b>
Teste 5	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
Teste 6	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>c</b>