

## NAVEGAÇÃO AÉREA COM GPS NO BRASIL

Nei Erling, José Bahia Soares e Marcelo Cosme da Silva Maria  
Instituto de Cartografia Aeronáutica  
Av. General Justo, 160  
20.021-010 - Rio de Janeiro RJ

### RESUMO

Para fazer um voo entre dois aeroportos os pilotos utilizam vários tipos de cartas aeronáuticas e equipamentos eletrônicos para balizar o "caminho" a ser seguido entre os pontos. Como esses rádios-baliza possuem diversas restrições e custo elevado, sendo implementado o uso de um novo sistema de navegação.

O NAVSTAR GPS - NAVigation Satellite using Time And Ranging Global Position System é um sistema baseado em satélites para proporcionar posição em 3D e tempo para receptores a bordo de aeronaves. O sistema está planejado para funcionar com 21 satélites principais e 3 reservas, de modo a formar uma rede, que proporcione uma cobertura mínima de 4 satélites em qualquer ponto da Terra.

A exemplo de equipamentos de navegação tradicionais, o microprocessador do receptor GPS passa aos pilotos informações completas sobre a navegação e o posicionamento da aeronave. A precisão do GPS habilita-se para uso em qualquer fase de voo, e está sendo proposto como apoio para o controle passivo de tráfego. Nesse novo método, o posicionamento da aeronave será fornecido ao controlador de tráfego aéreo pelo GPS, por via de satélite, e não mais por uma rede de radares.

A OACI pretende implantar o uso do GPS a partir de 1998 e, até 2005, espera que o Sistema seja capaz de apoiar um voo com zero de visibilidade (IFR), desde um ponto predefinido, no aeroporto de origem, até o boxe de estacionamento, no aeroporto de destino.

Este trabalho usa como exemplo a localidade de Joinville - SC e apresenta alguns conceitos sobre navegação aérea, rádio-baliza e todas as fases e resultados para a produção da Carta de Aproximação.

### ABSTRACT

To make a flight between two airports the pilots use several types of aeronautical charts and electronic equipments in order to furnish points of reference along the way between the points. As these radios have a lot of restrictions and they are very expensive, it is being implemented the use of a new navigation system.

The NAVSTAR GPS - NAVigation Satellite using Time and Ranging Positioning System - is a system based on satellites to give the 3D position and time for receivers on board. The system is planned to function with 21 main satellites and three on reservation, in order to create a net, which is able of giving a minimum of four satellites in any point of the planet.

ICAO intends to introduce the use of GPS in navigation at 1998 and, until 2005, they hope that the system will be able to sustain a flight with no visibility, from a definite point at the original airport to the parking at the final airport.

## 1 - INTRODUÇÃO

Certamente, em 1906, Santos Dumont não estava preocupado com o vôo sob quaisquer condições de tempo, porque ele ainda tentava, de modo acertado (configuração canard), resolver problemas de propulsão e dirigibilidade do mais pesado que o ar .

A guerra, mola de grandes desenvolvimentos, necessitou atacar o inimigo em qualquer lugar, sob tempo adverso, e assegurar o pouso de seus aviões após incursões demoradas.

Após a II Grande Guerra, começa o uso comercial do avião, que mantém a necessidade de realizar-se o vôo sob qualquer tempo, com conseqüente necessidade de serem aperfeiçoados e desenvolvidos os sistemas para uso na navegação, que serão usados em fases distintas do vôo com um custo alto de implantação , de manutenção , e com precisão nem sempre suficiente, para assegurar o pouso de um grande jato com 450 pessoas a bordo .

## 2 - NAVEGAÇÃO

Navegação é a arte e a ciência de conduzir uma aeronave seguramente para um determinado local. Navegar em três dimensões - 3D (latitude, longitude, altura) significa que primeiro deve-se estabelecer o equilíbrio do avião para depois buscar o posicionamento nas duas dimensões restantes.

Para organizar o vôo e o seu controle, a ORGANIZAÇÃO CIVIL DE AVIAÇÃO INTERNACIONAL - OACI

dividiu o deslocamento entre dois aeródromos em seis fases:

1ª FASE - Compreende o movimento no solo entre o ponto de estacionamento no aeródromo de origem até perto da pista de decolagem .

2ª FASE - Inicia com a rolagem da aeronave para decolar até o vôo nivelado.

3ª FASE - Vôo nivelado ou vôo de rota (fase em que são servidos os aperitivos).

4ª FASE - Início da descida até um ponto pré-definido.

5ª FASE - Manobras de aproximação para pouso e procedimento de arremetida em vôo, quando o tempo está ruim e o piloto não consegue avistar a pista de pouso.

6ª FASE - Compreende o movimento no solo após livrar a pista de pouso até o ponto de estacionamento no aeródromo de destino.

A OACI estabelece cartas para cada fase, sendo que a quinta é a mais crítica, pois o avião é operado em baixas velocidades e altitudes.

Durante o dia e sem cobertura de nuvens, o piloto precisa somente do horizonte natural para manter o vôo nivelado, usando a bússola magnética como orientação de rumo, e do relevo, para controlar o seqüenciamento da navegação entre dois pontos previamente traçados no mapa. A escala dos mapas usados em vôo varia conforme a altitude, área coberta e velocidade do avião em vôo.

## NAVEGAÇÃO POR INSTRUMENTOS

Quando o horizonte natural fica indefinido por nebulosidade e/ou luminosidade, e mais de 50% da superfície terrestre ficam encobertos, realiza-se o vôo sob regras por instrumentos (IFR-INSTRUMENTS FLIGHT RULES). Nesta situação, o piloto trabalha com o conjunto de mostradores que informam a altitude (altímetro barométrico) e a altitude do avião, que é fornecida pelo indicador de horizonte artificial. O horizonte artificial reproduz as informações geradas por uma plataforma giro-estabilizada.

Com a estabilização vertical e horizontal do avião resolvida, resta dar ao piloto a orientação necessária para que ele se desloque entre os pontos planejados. A navegação IFR iniciou com a introdução de rádio-baliza, chamada de NDB-NON-DIRECIONAL BEACON, que fornece a direção de sua antena com relação ao avião. Posteriormente, surgiu um rádio que emite um sinal de VHF (VERY HIGH FREQUENCY), chamado VOR (VERY HIGH FREQUENCY OMMIDIRECIONAL RANGE), que fornece o curso do avião para a antena com maior precisão e sem as interferências meteorológicas a que o NDB está sujeito. Ao VOR foi acoplado o DME - (VOR / DME), que fornece a distância entre o avião e a antena.

Embora o NDB e o VOR sejam bons balizadores para todas as fases de vôo, não fornecem a precisão e as condições ideais para uma aproximação, porque trabalham somente em dois eixos, oferecendo apenas o rumo de

aproximação para pouso. Como ocorrem problemas de aproveitamento desses equipamentos para as duas cabeceiras de uma mesma pista, as aproximações planejadas apresentam cursos sempre defasados dos rumos da pista. Estes procedimentos são chamados de não precisão, porque não fornecem uma rampa e possuem mínimos meteorológicos (teto - altura da base das nuvens) para pouso, da ordem de 500 pés de altitude.

Para trabalhar no terceiro eixo, foi desenvolvido o ILS - INSTRUMENT LANDING SYSTEM que fornece rumo de aproximação alinhado com o eixo da pista e rampa de pouso. Este é composto de dois transmissores em VHF; um colocado no eixo da pista, na cabeceira oposta ao pouso, que fornece o rumo de aproximação, e o segundo colocado na lateral da pista, na cabeceira de pouso, para fornecer a rampa. O arranjo permite a orientação em somente uma cabeceira de pista e os seus mínimos (teto) são da ordem de 200 FT para os ILS CATEGORIA I e 100 FT para o ILS CAT II.

Montar e operar uma rede VOR para dar apoio à navegação de longo alcance e outra de ILS para suportar os procedimentos de aproximação terá um alto custo. O VOR possui um alcance limitado a 40 NM (VOR), ou seja, entre RIO-SALVADOR, com 639 milhas, para instalar um VOR a cada 80 NM, seriam necessários 8 rádio-balizas para o apoio da fase nº3 e no mínimo 4 ILS (2 em SV e 2 em RJ) para o apoio da aproximação. Não esquecer que esses equipamentos requerem uma verificação eletrônica em

vôo para calibrar seus sinais a cada 8 meses para o VOR e 2 para o ILS e, também, que o país possui hoje, 198 aeroportos operando por instrumentos, o que equivale a uma necessidade mínima de 396 ILS, a um custo de 600 mil dólares cada. Em cada operação de calibração de um desses equipamentos, o Ministério da Aeronáutica voa em média 02:30 horas, sem contar os deslocamentos entre equipamentos a serem calibrados.

A terceira fase de vôo encontra dificuldade de ser apoiada em áreas extensas, de relevo acentuado e principalmente nas travessias oceânicas. Como solução, tem sido apoiada largamente por equipamentos de posicionamento absoluto, baseado em coordenadas geográficas. Os dois sistemas mais usados atualmente são: OMEGA e INERCIAL.

O OMEGA é um receptor de rádio, que usa frequências muito baixas de rádio, emitidas por oito estações de terra estrategicamente posicionadas e que, devido às informações modulares, permitem ao computador do receptor, a bordo das aeronaves, determinar o posicionamento do avião bem como fornecer ao piloto informações úteis, tais como velocidade, tempo até a próxima estação, deslocamento lateral da rota, etc... Por ser um sistema de rádio situado no solo e empregando uma onda de frequência muito baixa, está sujeito a problemas meteorológicos e de posição e/ou altitude de vôo.

O INERCIAL é um sistema autônomo, com grande emprego militar, que usa uma mesa estabilizada giroscopicamente e acelerômetros para

informar o deslocamento do avião em relação às coordenadas do ponto onde o equipamento foi inicializado. Os processadores de posse da informação passam para o piloto os mesmos cálculos apresentados pelo OMEGA, o que facilita a operação desses equipamentos pelos tripulantes em vôo.

Esses equipamentos não são usados na fase 5, devido a erros acumulados (INERCIAL) e de recepção (OMEGA). O avanço tecnológico tem proporcionado a união dos dois sistemas (relativo e absoluto), com grande melhora na precisão, porém, não substitui o ILS nas aproximações para pouso.

Como vimos, o atual sistema de apoio a navegação usa equipamentos diferenciados e de custo alto para a instalação, manutenção e com precisão nem sempre adequada ao volume de tráfego.

## GPS NA NAVEGAÇÃO AÉREA

O NAVSTAR GPS - NAVigation Satellite using Time And Ranging Global Position System é um sistema baseado em satélites para proporcionar posição em 3D e tempo para receptores a bordo de aeronaves. O sistema está planejado para funcionar com 21 satélites principais e 3 reserva, de modo a formar uma rede que proporcione uma cobertura mínima de 4 satélites em qualquer ponto da Terra.

O sistema foi desenvolvido inicialmente com objetivos militares pelo governo americano a partir de 1973, sob a responsabilidade do DEPARTMENT of DEFENSE (DoD), e está disponível para

uso da aviação geral através de um serviço de posicionamento padrão (SPS - STANDARD POSITIONING SERVICE) com uma precisão de 100m em 2D (com disponibilidade seletiva - SA ativada).

Como no OMEGA, o microprocessador do receptor GPS, após receber os dados codificados dos satélites, passa aos pilotos informações completas sobre a navegação e o posicionamento da aeronave. A precisão do GPS permite o uso do sistema em todas as fases de vôo e está tornando possível, também, o desenvolvimento de um sistema de controle passivo de tráfego (já testado no Brasil, com grande sucesso). Nesse novo método o "plot" da tela do controlador foi adquirido através de "mensagem" enviada via satélite pelo próprio avião, que, no modo ativo (Defesa Aérea), é resultado do tratamento de dados levantados por uma rede de radares.

O GPS permite a confecção de procedimentos de "não precisão alinhados com o centro da pista e mínimos meteorológicos (altura das nuvens e visibilidade horizontal) iguais ou abaixo de um procedimento VOR. Nesse mesmo local, com a instalação de um equipamento GPS de solo (DGPS) e habilitação do sinal em 3D, o mesmo procedimento, poderá ser operado com mínimos meteorológicos iguais a um ILS Categoria II.

A OACI definiu o período entre 1998 e 2005, como prazo para a implantação em todo o mundo do GPS, e espera que o sistema seja capaz de apoiar um vôo com zero de visibilidade (IFR), desde um ponto predefinido, no

aeroporto de origem, até o boxe de estacionamento, no aeroporto de destino (fases 1,2,3,4,5,6), até o final de 2005.

#### 5- CONFECÇÃO DA CARTA DE APROXIMAÇÃO

O GPS soluciona o programa da navegação aérea em todas as suas fases de vôo, e embora esteja dentro dos prazos para implantação mundial do novo sistema, prevista pela OACI, o Brasil, através da Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo - DEPV, está produzindo cartas de aproximação para pouso como solução de operação de das seguintes cidades: Joinville, Caxias do Sul e Navegantes. Essas cidades, devido ao incremento do tráfego aéreo, necessitam de sistemas para assegurar o pouso das aeronaves com mínimos meteorológicos inferiores aos estabelecidos pela atual rádio-baliza.

Como a implantação de um novo sistema convencional de apoio (VOR ou ILS) ficará cara e demorada, e como as aeronaves que operam já possuem o equipamento de bordo necessário, o Ministério da Aeronáutica resolveu adiantar a implantação do GPS como auxílio básico para as operações de aproximação, produzindo cartas, inicialmente, de "não precisão".

A Carta de Aproximação é o melhor exemplo para uso do GPS. Ela cobre a fase mais crítica de vôo (o avião voa em baixa velocidade, e os mínimos entre os obstáculos são os menores de todas as fases de vôo), e é requerida em maior número (65% de todas as cartas de vôo por instrumentos produzidos pelo Brasil).

Uma Carta de Aproximação apresenta ao piloto os seguintes dados:

as frequências usadas pelos diversos tipos de controle;

desenho sobre base cartográfica, das manobras de aproximação;

desenho do perfil das manobras para controle altimétrico;

informações complementares; e

mínimos para pouso conforme categoria da aeronave.

A execução da carta de joinville ( exemplo deste trabalho ) seguiu o planejamento normal para execução como veremos a seguir :

### 5.1 - AQUISIÇÃO DOS DADOS

Primeiro foi deslocado para a região uma equipe composta por cartógrafos e técnicos em Tráfego Aéreo para fazer o levantamento dos pontos críticos do procedimento.

Os dados de campo foram coletados com dois receptores GPS TRIMBLE 4000 SL de 01 (uma) frequência, 05 (cinco) canais e códigos C/A. foram previamente ocupadas com um teodolito wild T-2, com objetivo de identificar possíveis zonas de obstrução a recepção dos sinais dos satélites. Verificou-se uma ampla visão do céu em todas as estações, bem como a inexistência de prováveis locais "multipath" ( multicaminhamento dos sinais).Esta situação dos locais foi uma das responsáveis pelo número pequeno de "cycle-slips", como poderá ser visto no item relativo ao processamento das linhas de base. Foi utilizado como ponto de

origem do levantamento o vértice SG -22-1056 da Rede Básica do IBGE.

Obs:

1) Não houve o registro de observações meteorológicas; e

2) Os dados de campo foram gravados com intervalos de 15 segundos.

o quadro abaixo ilustra os serviços de coleta de dados:

BASE	SG-22-1056/A RP-397	ARP-397/CAB-14	ARP-397/CAB-32
Distância Aproximada	45 km	500m	1200m
Duração da sessão	4 Horas	30 minutos	35 minutos
PDOP Inicial	2,3	2,4	2,3
PDOP Máximo	4,1	2,8	3,7
PDOP Final	3,7	2,8	3,3
Satélites Rastreados	01-05-06-09-14-15-17-20-21-22-23-24-25-26-28-29-30-31	05-06-09-12-16-17-24	04-05-06-09-12
Zonas com Obstruções	NÃO	NÃO	NÃO

Para o cálculo das bases utilizou-se o "software" GPSurvey versão 1.20, com as efemérides transmitidas e o modelo de troposfera-padrão.

Para o processamento da linha de base SG-22-1056 (estação de referência) em WGS-84, obtida com os parâmetros publicados pelo IBGE ( $D_x = +66,87m$ ,  $D_y = - 4,37m$  e  $D_z = + 38,52m$ ), gerando novas coordenadas para o marco ARP 397 (Ponto de Referência de Aeródromo),

que por sua vez se tornou estação de referência para o transporte de coordenadas 3D para as cabeceiras da pista de pouso.

**INFORMAÇÕES BÁSICAS SOBRE COORDENADAS COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA EM WGS-84**

Base	Estação de Referência	Latitude	Longitude	Altitude (m)
SG-22-1056/ARP-397	SG-22-1056	S26 38 10 .193110	W048 4121. 21267	47,697
ARP-397/CAB-14 e ARP-397/CAB-32	ARP-397	S26 13 26.9648 1	W048 48 03.322 27	17,023

Para a análise dos resultados é de suma importância o estabelecimento dos critérios usados para rejeição/aceitação de resultados. Em função disso, resolveu-se adotar as características do "software" utilizado (GPSurvey), uma vez que o mesmo adota a solução otimizada, isto é, considera como resultado final o mais provável para a medição.

Para a base média (45 Km), a solução utilizada foi a Dupla Diferença Flutuante, por ser mais adequada a bases desta extensão, e que apresentam observações de boa qualidade.

Na determinação das bases curtas, foi adotada a Dupla Diferença Fixa, onde é possível resolver as ambigüidades como números inteiros, apresentando resultados de altíssima qualidade.

O quadro abaixo ilustra os resultados obtidos no processamento:

BASE	SG-22-1056/ARP-397	ARP-397/CAB-14	ARP-397/CAB-32
DISTÂNCIA (m) / DESVIO PADRÃO (cm)	46988,465/ 0,39	556,381/ 0,03	1134,393/ 0,03
SOLUÇÃO UTILIZADA	DUPLA DIFERENÇA FLUTUANTE	DUPLA DIFERENÇA FIXA	DUPLA DIFERENÇA FIXA
N DE OBS. USADAS	3345	250	283
N DE OBS. REJEITADAS	8	0	0
COMPONENTES DO VETOR(m)/ DESVIO PADRÃO(cm)			
dx/σx	+5003,831 / 0,67	-85,552/ 0,05	+576,811/ 0,05
dy/σy	-22601,395 / 0,43	-338,173/ 0,06	+864,845/ 0,07
dz/σz	+40890,76 / 0,37	+433,451/ 0,03	-486,816/ 0,08
ERRO PROVÁVEL DA DETERMINAÇÃO (cm)	0,87	0,20	0,34

O quadro compara os resultados e mostra as coordenadas obtidas, bem como as diferenças com as coordenadas antigas:

COORDENADAS GEODÉSICAS  
EM WGS-84

Coordenadas Novas

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
AP-397	S26 13 26.96481	W048 48 03.32227	17,023
CAB-14	S26 13 11.48568	W048 47 13.66571	3,221
CAB-32	S26 13 44.84754	W048 47 27.58968	1,464