

ROBERTO FIGUEIRA CARVALHO

O G. P. S. NOS LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Camil Gemael

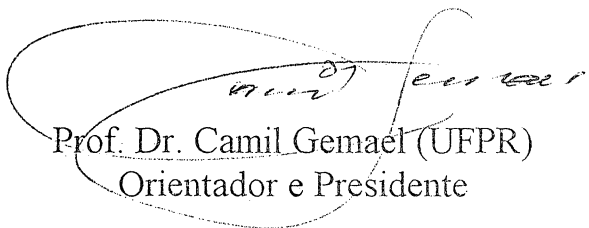
**CURITIBA
1990**

“O GPS NOS LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS”

POR

ROBERTO FIGUEIRA CARVALHO

Dissertação aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. Camil Gemael (UFPR)
Orientador e Presidente



Prof. Dr. José Bittencourt de Andrade - Membro (UFPR)



Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos – Membro (UFPR)

Agradeço a todos que colaboraram para a realização desta dissertação, e foram muitos...

Com carinho.

A José e Leny.

SUMÁRIO

1.	- INTRODUÇÃO	01
1.1	- HISTÓRICO DA DHN	01
2.	- RAYDIST	08
2.1	- INTRODUÇÃO	08
2.2	- DESCRIÇÃO SUCINTA DO RAYDIST “ER”, MODELO I.....	09
2.3	- CÁLCULO DA POSIÇÃO	16
2.4	- PROJEÇÃO USADA NAS FOLHAS DE SONDAÇÃO	17
2.5	- PLOTAGEM DA POSIÇÃO	18
2.6	- REGISTRO DA OPERAÇÃO.....	18
2.7	- APERFEIÇOAMENTO INTRODUCIDOS NO MODELO I.....	21
2.8	- RAYDIST TIPO “DM”.....	22
2.9	- PRECISÃO DOS SISTEMAS RAYDIST.....	23
2.10	- RAYDIST DRS-H	25
2.11	- RESULTADOS ALCANÇADOS PELOS EQUIPAMENTOS RAYDIST NA DHN	31
3.	- MINI-RANGER.....	35
3.1	- INTRODUÇÃO	35
3.2	- MINI-RANGER MRS –III.....	35
3.3	- DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	38
3.4	- DESCRIÇÃO ABREVIADA DA OPERAÇÃO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO DE CURTO ALCANCE	38
3.5	- DETALHES SOBRE A INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTO	39
3.6	- CALIBRAGEM DOS EQUIPAMENTOS	40
3.7	- PLOTAGEM DA POSIÇÃO.....	41
3.8	- PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	42

3.8.1. - TEORIA DE OPERAÇÃO	42
3.9 - RESULTADOS ALCANÇADOS PELO SISTEMA MINI-RANGER	
III DA MOTOROLA.....	45
4. - G.P.S.	52
4.1 - INTRODUÇÃO	52
4.2 - HISTÓRICO	53
4.3 - COMPONENTES DE UM SISTEMA UTILIZANDO SATÉLITES	
ARTIFICIAIS	55
4.4 - O POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	66
4.5 - A GEOMETRIA DO G. P. S. E PRECISÃO	73
4.6 - O CÁLCULO DAS COORDENADAS DE UM SATÉLITE G. P. S.	77
4.7 - O FORMATO DA MENSAGEM G. P. S.	83
4.8 - METODOS DE POSICIONAMENTO COM O G. P. S.	91
4.8.1 - FASE DO CÓDIGO.....	91
4.8.2 - DUPLA DIFERENÇA DE FASE	92
4.8.3 - TRIPLA DIFERENÇA DE FASE	93
4.8.4 - POSICIONAMENTO CINEMÁTICO	94
5. - WGS-84 - O DATUM DO G.P.S.	95
5.1 - INTRODUÇÃO	95
5.2 - MUDANÇA DO SISTEMA DE COORDENADAS NSW 9Z-2	
PARA WGS-84.....	95
5.3 - AS DEFINIÇÕES DO SISTEMA DE COORDENADAS WGS-84.....	98
5.4 - OS PARÂMETROS DEFINIDORES DO WGS-84	98
5.5 - AS CONSTANTES FÍSICAS E GEOMÉTRICAS DO	
ELIPSÓIDE WGS-84.....	100
5.6 - O GEÓIDE NO WGS-84.....	103

5.7	- AS RELAÇÕES ENTRE O WGS-84 COM OUTROS SISTEMAS GEODÉSICOS	105
5.8	- CONCLUSÃO	109
6.	- SUGESTÃO E CONCLUSÃO	110
6.1	- UMA SUGESTÃO BRASILEIRA	110
6.2	- OS TRABALHOS NA DHN	111
6.3	- PALAVRAS FINAIS	113
	- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

LISTA DE FIGURAS

2.1	- Esquema da primeira área sondada utilizando o Raydist.....	09
2.2	- As três estações Raydist.....	10
2.3	- Esquema de um equipamento	13
2.4	- Medição de distância por comparação de fase.....	20
2.5	- Um sistema particular geral do Raydist	28
3.1	- Rede MRS III	36
3.2	- Diagrama em bloco do MRS III.....	39
4.1	- A constelação dos satélites protótipos G.P.S.....	56
4.2	- A visibilidade dos satélites G.P.S. em Recife (01/03/88).....	58
4.3	- Visibilidade dos satélites G.P.S. no Rio de Janeiro (01/03/88).....	59
4.4	- A constelação G.P.S. no final da fase III	60
4.5	- A posição dos satélites G.P.S. em suas órbitas – No plano equatorial	62
4.6	- As cinco estações de controle G.P.S.....	63
4.7	- O posicionamento por satélite.....	69
4.8	- O posicionamento relativo	72
4.9	- As elipses orbitais TRANSIT e G.P.S.	80
4.10	- Os sistemas para o cálculo das coordenadas cartesianas de um satélite G.P.S.	84
4.11	- O formato da mensagem G.P.S.....	86
4.12	- A concepção da modulação em fase.....	90
5.1	- As diferenças entre os sistemas NSWC 9Z-2 e WGS-84	97
5.2	- O sistema de coordenadas WGS-84.....	99
6.1	- As localizações das antenas receptoras no NHi “Sirius”	114
6.2	- A triangulação Navio-Estações.....	115

LISTA DE TABELAS

4.1	- Erro orbital admissível para 1cm de erro na linha base	75
4.2	- Erro relativo numa base em função do erro orbital.....	75
5.1	- Constantes geométricas WGS-84	102
5.2	- Constantes físicas WGS-84.....	102
5.3	- Constantes dos elipsóides de referência.....	108
5.4	- Parâmetros de transformação do sistema geodésico local para o WGS-84.....	108

ABSTRACT

The aim of this work was to present at the first chapter, a brief history of the Directorate of Hydrography and Navigation (DHN) from the Navy, the two following chapters show the accurate electronic positioning system, – RAYDIST and MINIRANGER III that are still under use at DHN in its hydrographic surveys. At the last chapters we have a short description of the Global Positioning System (G. P. S.), its datum WGS-84, ending up with a suggestion for the Brazilian creative generation.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi apresentar no primeiro capítulo, um breve histórico da Diretoria de Hidrografia e Navegação (D. H. N.) do Ministério da Marinha; nos dois capítulos seguintes, os sistemas de posicionamento eletrônicos (RAYDIST E MINI-RANGER III), utilizados pela D. H. N. para a determinação do posicionamento contínuo de seus navios durante levantamentos hidro-oceanográficos; e nos capítulos posteriores uma sucinta descrição do GLOBAL POSITIONING SYSTEM (G. P. S.), o seu DATUM (WGS-84), finalizando com uma possível sugestão à engenhosidade e criatividade brasileira.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - HISTÓRICO DA DHN

Descoberto o Brasil, surgiram imediatamente cartas geográficas. No próprio ano do descobrimento, foi desenhada por Juan de La Cosa, cartógrafo espanhol, uma carta de marear, onde a costa norte do Brasil é Posicionada com excelente aproximação. De 1502 é o famoso planisférico chamado Cantino, onde o Brasil cabralino figura pela primeira vez. Desde então, à proporção que se fazia o reconhecimento do vasto território, iam surgindo cartas náuticas, paulatinamente aperfeiçoadas. Tal aperfeiçoamento era, entretanto, limitado cientificamente. Para fixação de um ponto, na superfície do mar são necessárias duas coordenadas: latitude e Longitude. A latitude tinha como origem o equador e a longitude era contada a partir de um meridiano convencional, que era variável, quase sempre dependente da nacionalidade do cartógrafo. Paris, Ferrara (Itália), Ilha do Ferro (Ilha da Madeira) e mesmo o Rio de Janeiro, foram utilizados para ali passar o meridiano-base.

Nos dois primeiros séculos após a chegada a Porto Seguro, dispunham os pilotos e cartógrafos dos elementos materiais necessários ao cálculo da latitude:

- a) astrolábios, quadrantes, balestilhas eram os instrumentos com os quais se obtinha a altura da, Estrela Polar ou a altura, do Sol na sua passagem meridiana;
- b) "Regimentos" da Estrela Polar ou do Sol, estes acompanhados de tábuas de declinação.

Faltava-lhes entretanto, a segunda Coordenada, a longitude. Isto não impediu que fossem elaboradas cartas da costa brasileira.

Múltiplas foram as tentativas de invenção de processos para determinar a longitude, especialmente em razão da disputa territorial entre Espanha e Portugal, resultante do Tratado de Tordesilhas.

Somente em 1676 o Meridiano de Londres passou a ser utilizado e no final do século XVIII, Meridiano de Greenwich, e em 1884 numa Conferência Internacional realizada em Washington, o Meridiano de Greenwich foi reconhecido internacionalmente como o meridiano origem.

Em 1729 eram nomeados dois jesuítas, os padres Diogo Soares e Domingos Capacy, para passarem ao Estado do Brasil e ali traçar "mapas das terras do dito Estado, não só pela Marinha, mas pelos sertões, com toda a distinção".

Ao Rio de Janeiro chegaram em 1730. Capacy, falecendo em 1730, deixou obra relativamente pequena. Soares, até 1748, ano de sua morte, trabalhou incansavelmente.

O grande passo seguinte para a verdadeira implantação da cartografia científica no País, vamos encontrar na seqüência do Tratado de Madrid (1750).

Após os trabalhos iniciais dos padres matemáticos Diogo Soares e Domingos Capacy, que cobriam a costa sul do País, cientistas, destinados aos trabalhos demarcatórios conseqüentes dos tratados de 1750 e 1777, cartografaram a costa sul, e as Bacias Platina e Amazônica.

A cartografia dos limites do Tratado de Santo Ildefonso (1771) o tratado do Pardo de 1761, deitou por terra tudo o que, pelo o de Madrid, haviam concordado as duas potências ibéricas. Mas em 1777, graças à mediação simultânea da França e Inglaterra, novo acordo foi firmado. Novas comissões foram criadas, em decorrência, para demarcação dos limites convencionados.

A assinatura do Tratado de Madrid, em 1750, dá ensejo à Expedição de Limites que trás à América do Sul nomes famosos da ciência cartográfica de Portugal e Espanha,

para trabalho conjunto de demarcação de fronteiras. São realizadas, então, as Partidas do Sul e Partidas do Norte.

Em 1792, inicia-se a fase da Cartografia Joanina.

Em 1798, é criada em Portugal, a Sociedade Real Marítima Militar e Geográfica para o Desenho, Gravura e Impressão de Cartas Hidrográficas, Geográficas e Militares que vai dar ênfase à importância da feitura de cartas hidrográficas.

Os reflexos sobre Portugal das campanhas napoleônicas são negativas para a Sociedade Real Marítima, mas trazem benefícios para o Brasil. A Companhia de Guardas-Marinha da Real Academia transfere-se para o Brasil, com o Depósito de Escritos da Academia, que integrava o acervo de. Sociedade Real Marítima. É criado, então, no Rio de Janeiro, em 1808, o Arquivo Militar.

O período que se seguiu à independência é caracterizado pela presença de missões francesas incumbidas de realizar campanhas hidrográficas para dar continuidade ao conhecimento do nosso litoral. Destacam-se, nessa fase, as missões de Albine Roussin, Lartigue, Grivel e Barral.

Em 1842, a missão francesa chefiada pelo Capitão-de-Corveta Tardy de Montravel realiza levantamento do trecho da costa, desde o Maranhão ao Cabo Orange, levantamento do rio Amazonas até Óbidos e trecho do rio Tapajós, levantamento do rio Pará e levantamento da baía de São Marcos.

A última campanha hidrográfica francesa realizada no Brasil, foi chefiada pelo Capitão-de-Fragata Amedée Ernest Barthelemy Mouchez.

No período de 1856 a 1860, Mouchez realiza o levantamento do rio Paraguai, o levantamento do porto de São Francisco do Sul e o reconhecimento do arquipélago de Abrolhos.

Os trabalhos de Mouchez, nas costas do Brasil, de norte a sul estenderam-se até 1868.

As cartas de Mouchez, referentes à região entre Cabo Frio e a Ilha de São Sebastião e as de Sepetiba e Ilha Grande primam pela precisão e riqueza de pormenores de interesse do navegador.

Em meados do século XIX, iniciaram-se os trabalhos de hidrografia realizados por oficiais de nossa Marinha. No ano de 1847, é realizado pelo Capitão-Tenente Joaquim Raimundo de Lamare levantamento da baía de Guanabara, com base em triangulação feita em 1810.

O oficial de Marinha que realizou trabalho hidrográfico de maior envergadura no século passado foi Manoel Antônio Vital de Oliveira.[04]

Em 1864, em decorrência da situação de beligerância do País, suspende as atividades hidrográficas e assume o comando do vapor de guerra São Francisco.

Em 1866, traz, da França para o Brasil, o monitor-encouraçado Nemesis, que é incorporado como couraçado Silvado, à segunda divisão de Esquadra de Operações de Guerra do Paraguai. Cai mortalmente ferido ao participar do bombardeio de Curupaiti e Lagoa Pires.

O Capitão-de-Fragata Manoel Antônio Vital de Oliveira, é considerado o Patrono da Hidrografia e, na data de seu nascimento - 28 de setembro é comemorado o dia do Hidrógrafo.

Por decreto do governo imperial, no dia 2 de fevereiro de 1876, é criada a Repartição Hidrográfica.

O período que vai de 1876 a 1891 é marcado pela elaboração de esboço de plano de levantamento da costa brasileira, idealizado pelo Barão de Teffé, é empregado, pela primeira vez, em nossa Marinha, o telégrafo elétrico, na transmissão de sinais horários.

Em 1898, são elaboradas as primeiras instruções meteorológicas, e as cartas isobáricas de superfície.

Em 1929 inicia a triangulação da baía da Ilha Grande, sendo utilizados, o astrolábio de 60 graus e os teodolitos de micrômetro ótico.

Em 1934, é iniciado o emprego da fotografia aérea nos trabalhos de hidrografia.

Em 1935, o navio "Rio Branco", equipado com um ecobatímetro "Atlas", executa sondagens no canal de São Sebastião, sendo usadas, no país, pela primeira vez, as sondagens sonoras.

Em 1939, entra em funcionamento, na Ilha Fiscal, a oficina de impressão de cartas.

Em 1955, era utilizada pela primeira vez no país, método eletrônico para localização de sondagens, no Amapá - Equipamento de marca "Raydist" - adquirido nos Estados Unidos, em abril de 1954 - vamos entrar em mais detalhes sobre esse equipamento mais adiante.

O levantamento do braço norte do rio Amazonas foi a maior e a mais difícil campanha executada pela hidrografia brasileira até aquela data.

Em dezembro de 1959 os navios hidrográficos "Sirius e "Orion" concluíram o levantamento do rio Pará. Foi nesse levantamento que se empregou, pela primeira vez, o distanciômetro eletrônico "telurômetro", para medição de poligonal na ilha de Marajó.

Durante o ano de 1967, ocorre a publicação da primeira carta-sonar, referente a trecho entre o Rio de Janeiro e Vitória e a publicação da primeira carta de pesca, a de número 23900, abrangendo o trecho do cabo São Tomé a Itajaí.

Em 1971, a DHN passa a utilizar o sistema de posicionamento Mini-Ranger de fabricação da Motorola Military and Aerospace Electronics, complementando facilidades que o sistema Raydist não oferece.

Em julho de 1973 foi publicada a primeira carta internacional, de acordo com os regulamentos aprovados pela Organização Hidrográfica Internacional.

O início do ano de 1977 caracterizado pela conclusão dos trabalhos de campo referentes ao levantamento hidrográfico do rio Paraguai, desde a foz do rio Apa, até Assunção. Os trabalhos foram realizados, com participação de representantes da Bolívia e do Paraguai.

Ainda no ano de 1977 temos a publicação da Carta de Localização e Acompanhamento, primeira carta da DHN totalmente calculada por computador e traçada em plotador automático, com base em programa criado e desenvolvido pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos, da Diretoria.

Em, 28 de setembro de 1982 é incorporado à Marinha no porto de Aalborg, na Dinamarca o navio de apoio oceanográfico "Barão de Teffé", (ex-M/S Thala Dan), e é a primeira unidade da Marinha especialmente preparada para a navegação em regiões polares. O "Teffé", ainda no ano de sua incorporação a 20 de dezembro, suspende do Rio de Janeiro para a realização da Operação Antártica I, primeira expedição científica brasileira ao continente antártico.

Nos três primeiros anos da década de 80, registramos, a realização da determinação de cinco vértices de primeira ordem, por rastreamento satélite (TRANSIT), no rio Paraguai, necessários ao fechamento e controle da poligonal geodésica; e a utilização na DHN, pela primeira vez, do teodolito giroscópico Busca-Meridiano Wild Gak 1, para, determinação do Norte verdadeiro, com o propósito de instalar as antenas da estação-rádio de Campos Novos.

Em janeiro de 1984, a DHN adquire uma configuração de equipamentos de processamento eletrônico de dados, destinada à automatização cartográfica, à conta do Projeto de Cartografia Náutica Apoiada por Computador. Tal configuração é integrada por compu-

tador VAX-11/780, unidades de fita e disco magnéticos, quatro estações gráficas para trabalho equipadas com mesas de digitação, terminais alfanuméricos, impressoras e dois “plotters” de precisão, sendo um deles equipado com cabeça ótica de gravação.

Em fevereiro de 1984 - Operação Antártica II - foi realizado o primeiro levantamento hidrográfico brasileiro na Antártica - ilha do Rei George e baía do Almirantado. Durante esse levantamento foram utilizados, pela primeira vez, o equipamento rastreador MX-1502 (TRANSIT) e o distanciômetro ótico-eletrônico DI-20. |03|

A 21 de fevereiro de 1987 - o NHi “Sirius” realiza a primeira experiência hidrográfica - utilizando sinais G.P.S. para posicionamento dinâmico, nas proximidades do Cabo São Tomé.

E a DHN com propósito de apoiar as Operações Navais e contribuir para a segurança da navegação na área Marítima de interesse do Brasil e nas vias navegáveis interiores, não esquece o seu lema de que "Restará sempre muito o que fazer".

CAPÍTULO 2

RAYDIST

2.1 - INTRODUÇÃO

Utilizando métodos visuais nos levantamentos hidrográficos, a DHN era obrigada a aceitar uma menor precisão na determinação da posição, a medida que o levantamento se afastava de terra. E limitava o tempo de trabalho ao período diurno de boa visibilidade.

Na Barra Norte do rio Amazonas, na foz desse rio, devido às condições hidrográficas e topográficas locais, a determinação da posição da embarcação por métodos visuais não era o indicado. O método de sinais flutuantes também não deu resultado, devido à grande correntada.

Também o apoio com três navios fundeados e com as suas posições determinadas em função de pontos na costa, revelou ser além de antieconômico, bastante perigoso, pois a água barrenta não permitia visualizar os bancos, que mais tarde foram descobertos a cerca de 20 milhas da costa.

Percebendo que, com os meios disponíveis, não seria possível a execução desse trabalho, foi a DHN levada a procurar métodos eletrônicos de posicionamento.

Do resultado da procura, nos Estados Unidos da América, foi escolhido o sistema Raydist "ER" - por ser um sistema circular - "permitia a localização por interseção de círculos de distância em relação a duas estações fixas", e além disso o equipamento de que se compunha o sistema era relativamente portátil.

Tal equipamento foi embarcado no Navio Hidrográfico "Rio Branco".

Iniciada a campanha em abril de 1955, somente em novembro do mesmo ano deu-se por encerrada a sondagem.

Na figure 2.1, aparece um esquema da área sondada, que deu origem à carta 201 - Barra Norte do Rio Amazonas.

2.2 - DESCRIÇÃO SUCINTA DO RAYDIST “ER”, MODELO I.

Constava o equipamento desse sistema, de três estações, sendo duas fixas montadas sobre pontos com coordenadas conhecidas e, uma estação instalada a bordo, como mostra a figura 2.2.

Numa das estações fixas, - a circular, o transmissor de onda contínua trabalhava na frequência $1/2 (2F + \Delta F)$, enquanto que na estação móvel outro transmissor de onda contínua emetia na frequência $2F$.

Não tendo essas transmissões caráter direcional nos três pontos do sistema: estação móvel, estação circular e estação hiperbólica, havia um batimento ΔF , em uma situação de fase que dependia da fase dos sinais que o produziam.

O movimento oscilatório nos mostra que a fase de um sinal de onda contínua, transmitido por uma estação, ao atingir um determinado ponto pode ser expressa pela fórmula:

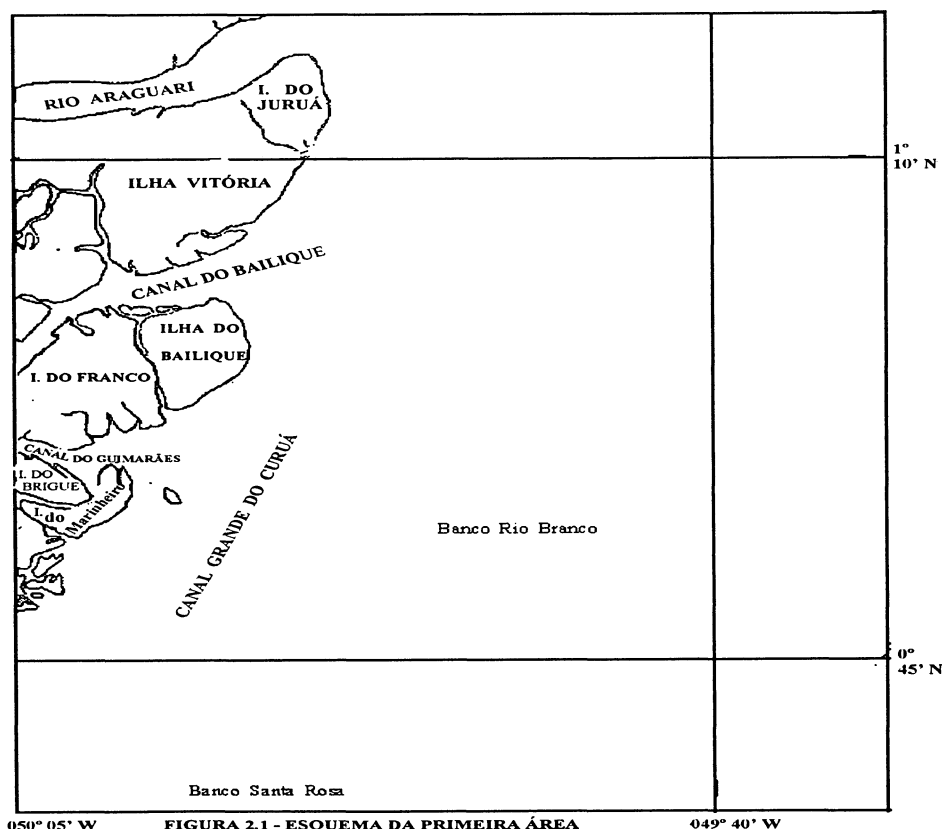


FIGURA 2.1 - ESQUEMA DA PRIMEIRA ÁREA SONDADA UTILIZANDO O RAYDIST

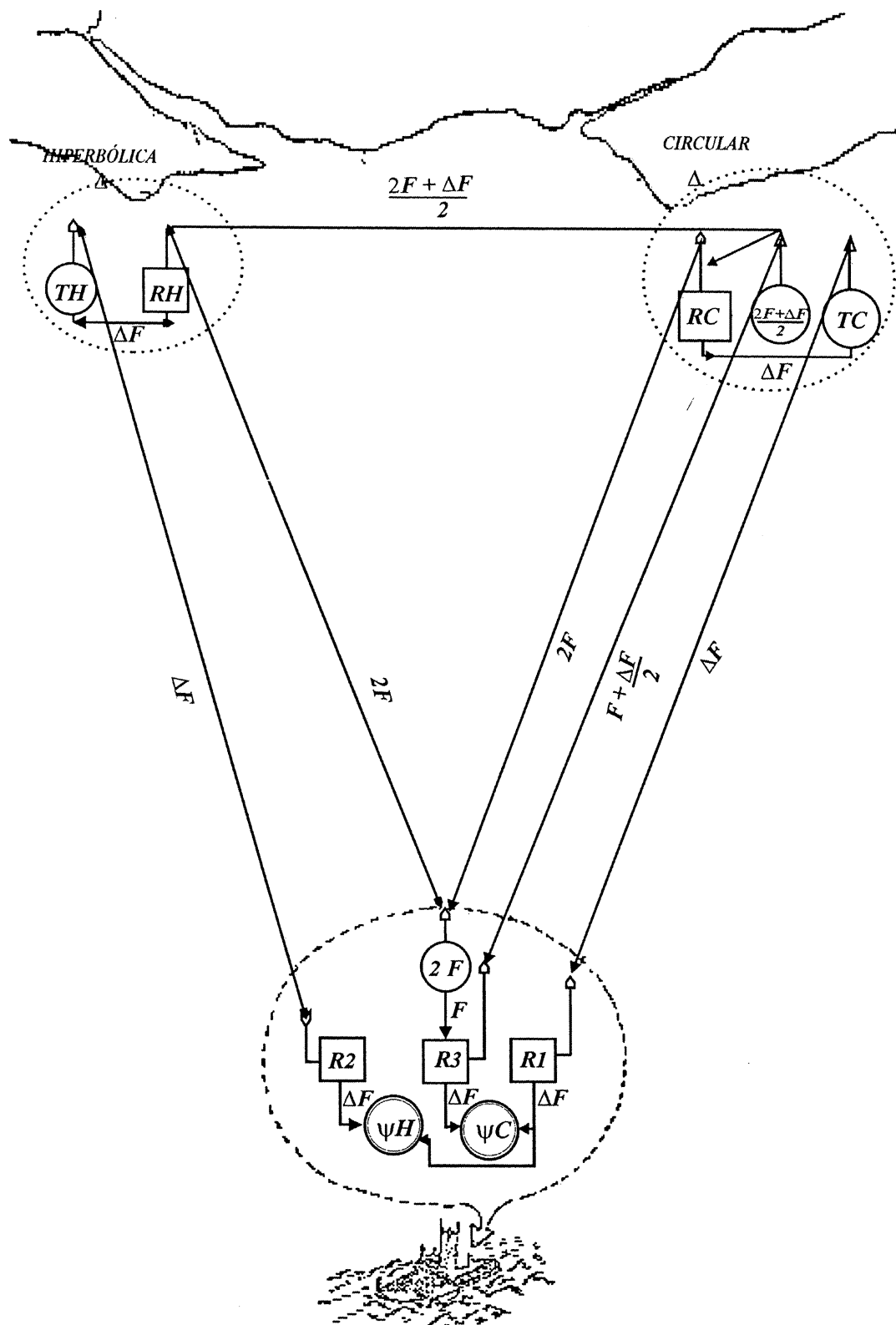


FIGURA 2.2 - AS TRÊS ESTAÇÕES RAYDIST

FASE DE UM SINAL (\varnothing) = $2\pi ft$, onde

f = a frequência usada na transmissão e

t = o tempo em segundos, decorrido no trajeto entre a estação emissora e o ponto considerado.

A situação de fase de um batimento, de vez que esse é a diferença entre as frequências que o produzem, por consequência vai depender da situação de fase de cada um deles; o valor da fase do batimento é dado por: $\alpha = \varnothing_1 - \varnothing_2$.

No nosso caso:

- a) Na estação fixa circular, o batimento era o resultado da combinação dos sinais emitidos pela estação móvel na frequência $2F$ (4.127 kHz) e o segundo harmônico da transmissão de onda contínua dessa estação era igual a $2 [1/2 (F + \Delta F)]$.
- b) Na estação fixa hiperbólica o batimento era obtido no estágio final de seu receptor duplo que recebia de um lado 4.127 kHz e de outro 2.063,7 kHz, respectivamente emissões da estação móvel e da circular, dando na saída o batimento de 400 Hz (ciclos por segundo).
- c) Na estação móvel o batimento era obtido retirando-se do circuito oscilatório do transmissor o valor "F" (2.063,5 kHz) e introduzindo no receptor que estava recebendo a transmissão da estação circular, na frequência de 2.063,7 kHz. Em realidade o batimento era de 200 Hz. porém o receptor tinha um dobrador no estágio final de saída de modo a dar 400 Hz.

Obtidos os batimento ΔF nas três estações, havia necessidade de levar para bordo, para a estação móvel, os das estações fixas, isso era feito usando duas transmissões de fre-

qüência modulada; por meio dos transmissores Tc e Th, respectivamente das estações circular e hiperbólica, mostrados na figura 2.3.

A bordo, além do receptor já mencionado em c), existiam outros dois de frequência modulada, destinados a, na saída, dar os batimentos de 400Hz correspondentes às estações fixas, e assim, como se mostra na figura 2.3, na estação móvel existiam os três receptores.

R1 - receptor correspondente ao retorno da estação circular.

R2 - receptor correspondente ao retorno da estação hiperbólica.

R3 - receptor onde se obtém o batimento de 400Hz da própria estação móvel.

Linhas de posição - a comparação dos batimentos ou sinais a bordo permitiam a localização do navio sobre linhas de posição determinadas, de acordo com o princípio matemático do sistema:

- a) comparação dos sinais dos receptores R1 e R3 determinava a posição do navio sobre um círculo de distancia em relação à estação fixa que se denominou circular.
- b) a comparação dos sinais dos receptores R1 e R2 determinava a posição do navio sobre um ramo de hipérbole em que as duas estações fixas são os focos dessa linha.
- c) a comparação dos batimentos dos receptores R2 e R3 determinava a posição do navio sobre uma elipse, da qual as duas estações fixas eram os focos.

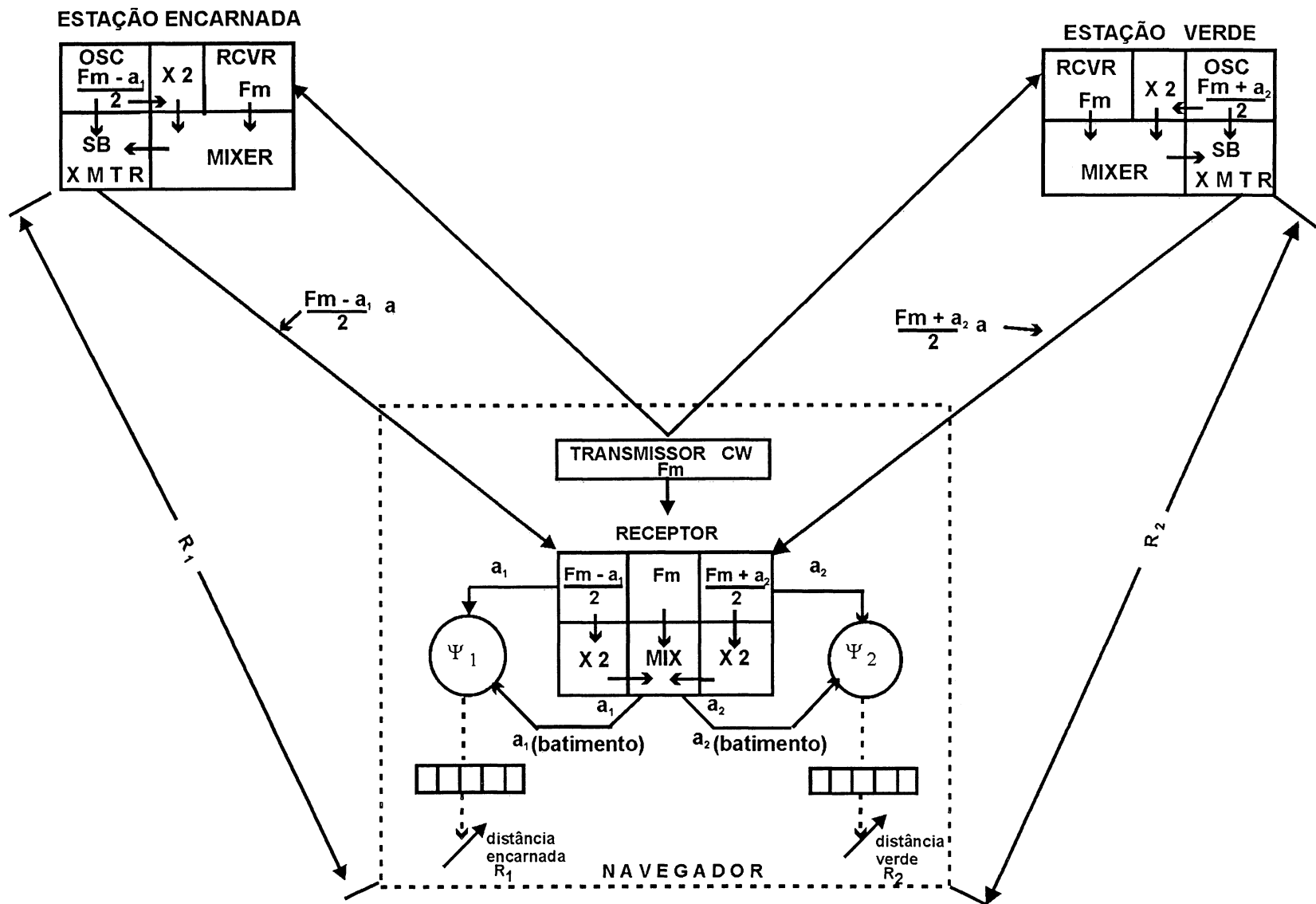


FIGURA 2.3 - ESQUEMA DE UM EQUIPAMENTO RAYDIST

Os sinais de 400Hz ao saírem dos receptores eram encaminhados a um amplificador que os preparava para que no indicador permitisse a comparação, para determinação da linha de posição que se desejava.

No indicador, normalmente no mostrador da esquerda, comparavam-se os sinais de R1 e R3, e, no da direita, de R1 e R2, tendo-se assim no primeiro a parte circular e no segundo a parte hiperbólica do sistema. Embora a melhor situação fosse a de comparar os sinais de modo a ter o navio situado simultaneamente sobre hipérbole e elipse, devido ao cruzamento sempre a 90 graus, por dificuldade de ordem cartográfica não a usávamos.

As fórmulas para as três diferentes linhas de posição eram as seguintes:

a) CIRCULAR

$$\psi_c = 2\alpha_m - \alpha_{cm} = 4\pi f \frac{r1}{v} \text{ onde:}$$

α_m - é a situação do batimento no receptor R3, e

α_{cm} - é a situação do batimento no receptor R1, depende não só de sua situação na estação circular, mas também da distância entre essa estação e a móvel, e

f - é a frequência 2F do transmissor da estação móvel,

v - é a velocidade da propagação das ondas de rádio.

$$\psi_c = 4\pi f \frac{r1}{v}, R1 = \frac{\Psi_c}{2\pi} = \frac{r1}{\lambda/2} \text{ onde:}$$

R1 - é a distância do navio à estação circular em “corredores” (denominação dada ao meio comprimento de onda da frequência 2F).

λ - é o comprimento de onda da frequência 2F do transmissor de onda contínua da estação móvel.

b) HIPERBÓLICA

$$\psi_H = \alpha_{HM} - \alpha_{CM} = 2\pi f \frac{r1}{v} - 2\pi f \frac{r2}{v} + 2\pi f \frac{B}{v}, \text{ onde:}$$

α_{CM} - é a situação do batimento no receptor R1

α_{HM} - é a situação do batimento no receptor R2, dependendo não somente da situação na estação hiperbólica, mas também, de r_2 , distância dela à estação móvel.

B - é a distância entre as duas estações, comprimento a que se denomina Linha Base.

$$H = \frac{\Psi H}{2\pi} = \frac{r_1}{\lambda} - \frac{r_2}{\lambda} + \frac{B}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} (r_1 - r_2 + B) \text{ onde,}$$

$$2H = \frac{1}{\lambda/2} (r_1 - r_2 + B) = R_1 - R_2 + B \text{ onde,}$$

R_1 - é a distância em corredores do navio à estação circular,

R_2 - é a distancia em corredores do navio a estação hiperbólica, e

B - é a Linha Base, também medida em corredores.

Essa última fórmula possibilita passar-se da leitura da parte hiperbólica para a distância em corredores à estação fixa desse mesmo nome.

C) ELÍPTICA

$$\psi E = 2\alpha_M - \alpha_{CM} = 2\pi \frac{r_1}{\lambda} + 2\pi \frac{r_2}{\lambda} - 2\pi f \frac{B}{\lambda}$$

Na qual os símbolos já são conhecidos. Essa fórmula, visando trabalhar com os valores em corredores, é transformada para a seguinte:

$$2E = R_1 + R_2 - B$$

Da qual também se pode determinar o valor da distância em corredores entre o navio e a estação hiperbólica.

$$\psi E = 2 \frac{\pi}{\lambda} (r_1 + r_2 - B)$$

$$2E = \frac{1}{\lambda/2} (r_1 + r_2 - B) = R_1 + R_2 - B$$

2.3 - CÁLCULO DA POSIÇÃO

Para obter os dados necessários à posição, no instante da sondagem eram anotadas as leituras indicadas na parte circular e na parte hiperbólica, dos mostradores do indicador obtendo-se assim R1 e H.

Com esses dois valores e ainda o de B, em corredores, o valor da distância, nessas unidades, do navio à estação hiperbólica, podia ser calculado. No entanto, para maior rapidez e segurança, o cálculo era feito no calculador manual introduzindo nele os valores obtidos dos indicadores R1 e H.

Como o valor de B é constante para uma mesma instalação de estações fixas, o calculador antes devia ser ajustado para indicar o valor de R2 igual a B, quando os dois valores de R1 e B fossem iguais a zero; Podia ainda ser calculado um valor para R2 correspondente a dados valores desses dois elementos, e ajustado o calculador para essas três cifras.

Desse modo, o calculador manual, resolvia a equação:

$$R2 = R1 + B - 2H$$

O navio, então, podia ter a sua posição determinada pela interseção de dois círculos de distância, em relação às duas estações fixas.

Neste antigo sistema Raydist, para que não houvesse dúvida na posição, as hipérboles eram graduadas de zero até o máximo B, a partir da estação circular para a estação hiperbólica. Os valores dados nos mostradores do indicador estavam em corredores o que facilitava a entrada direta com esses valores no calculador.

Assim o sistema “ER”, que em realidade era hiperbólico e circular, podia ser considerado como um, sistema circular em que os valores de R1 e R2 eram distâncias a duas estações fixas, medida em corredores. |07|

2.4 - PROJEÇÃO USADA NAS FOLHAS DE SONDAGEM

Até o ano de 1958, dois foram os tipos de projeção empregados na confecção das Folhas de Sondagem e das Folhas de Bordo; na Barra Norte do rio Amazonas, próximo do Equador, foi usada a projeção de Mercator, e, nos demais serviços, realizados entre as latitudes de 26 e 29 graus Sul foi usada a projeção de Cassini e Soldner.

As folhas eram preparadas usando-se papel forrado de pano para reduzir as deformações conseqüentes de umidade e calor; nelas eram traçadas os círculos de distâncias a partir das duas estações fixas, intervalados de 100 corretores. Os círculos das duas estações eram traçados em cores diferentes, bem como suas graduações, de um modo geral os da circular eram traçados em cor encarnada e os da hiperbólica em azul.

As sondagens eram transportadas da Folha de Bordo para o original da carta por meio de quadrícula, sempre trabalhando-se em redução de pelo menos de 2:1, assim as sondagens de uma Folha de Bordo traçada em 1:50.000 eram reduzidas para a carta na escala de 1:100.000. No transporte de sondagens por quadrícula, na latitude de 29 graus já se notava que o encaixe fugia a precisão gráfica de 0,2mm, o que sem dúvida aconselhava outro tipo de projeção.

No que respeita à utilização de outro sistema de projeção para latitudes altas, já existia a idéia de usar-se a projeção transversa de Mercator, sem que, no entanto, houvesse algum estudo concreto sobre o assunto, mas era de acreditar que isto seria resolvido, de vez que no nosso programa de levantamentos estava a região do Rio Grande, na latitude de 32 graus sul; e foi o que aconteceu.

2.5 - PLOTAGEM DA POSIÇÃO

Sendo as Folhas de Sondagem construídas já com o traçado dos círculos de distâncias espaçados de 100 corredores, para plotagem de valores intermediários desses era usado um plotador, do tipo Odessey, confeccionado em plástico transparente, com um mínimo de deformação.

O plotador nada tinha de especial, constava de uma série de círculos concêntricos, tendo como raio o comprimento abrangido por 100 corredores na escala usada para plotagem, que evidentemente era a mesma da folha de sondagem.

A plotagem da posição era efetuada, por meio do plotador, com relativa facilidade e precisão, da seguinte maneira:

O “plotter” ao receber os valores de R_1 e R_2 , com a plotador procurava fazer com que os círculos, correspondentes às dezenas e unidades das duas leituras, ficassem tangentes ao círculo traçado na folha de sondagem que tivesse graduado o número de centenas imediatamente inferior; a tangencia simultânea das leituras das duas estações determinava a posição no centro do plotador, que nessa posição tem um furo, por onde era introduzido um estilete para deixar marcado na folha de sondagem o “ponto”.

A operação tornava-se mais simples e permitia somente usar-se à mostra a zona que estava sendo sondada no momento.

Com uma equipe treinada, desde a observação dos mostradores até a plotagem da posição era gasto normalmente o tempo de 30 segundos.

2.6 - REGISTRO DA OPERAÇÃO

Como todos os sistemas de localização por comparação de fase de sinais de rádio, o RAYDIST também apresenta o inconveniente de ser ajustado para uma posição conhecida antes do início das operações de sondagem, e daí, por diante o movimento dos ponteiros

dos mostradores é registrado num. gráfico, onde também se marca os números da posição de sondagem.

Como sabemos a comparação de fase, proporciona um modo preciso de medir a distância entre dois pontos. Por exemplo, sendo dois transmissores T1 e T2, conforme figura 2.4, da mesma frequência, localizados nos pontos A e B respectivamente, cuja distância é igual ao comprimento de onda dos transmissores λ . E, se tivermos em B, um fasímetro que meça a diferença de fase entre as ondas originária dos transmissores, ele, indicará 0° .

Portanto, se o transmissor T2, deslocar-se de $\frac{\lambda}{4}$ na direção de T1, o ponteiro do fasímetro irá deslocar-se no sentido contrário aos ponteiros do relógio e parará na indicação de 270° que corresponderá a nova posição de B do transmissor T2. A distância A entre os dois transmissores será então de $\frac{3}{4}\lambda$ (270°).

Agora temos uma nova situação, os transmissores estão distantes de 2λ . Repetindo a situação acima, o fasímetro indicará primeiramente também 0° e na segunda situação quando T2 for deslocado de $\frac{\lambda}{4}$, o fasímetro indicará 270° ou seja a distância de $\frac{3}{4}\lambda$ quando na realidade os transmissores estão distanciados de $\lambda + \frac{3}{4}\lambda$. o que nos mostra que é necessário conhecer-se a posição inicial, para que a partir desta o sistema nos indique a distância real entre os transmissores.

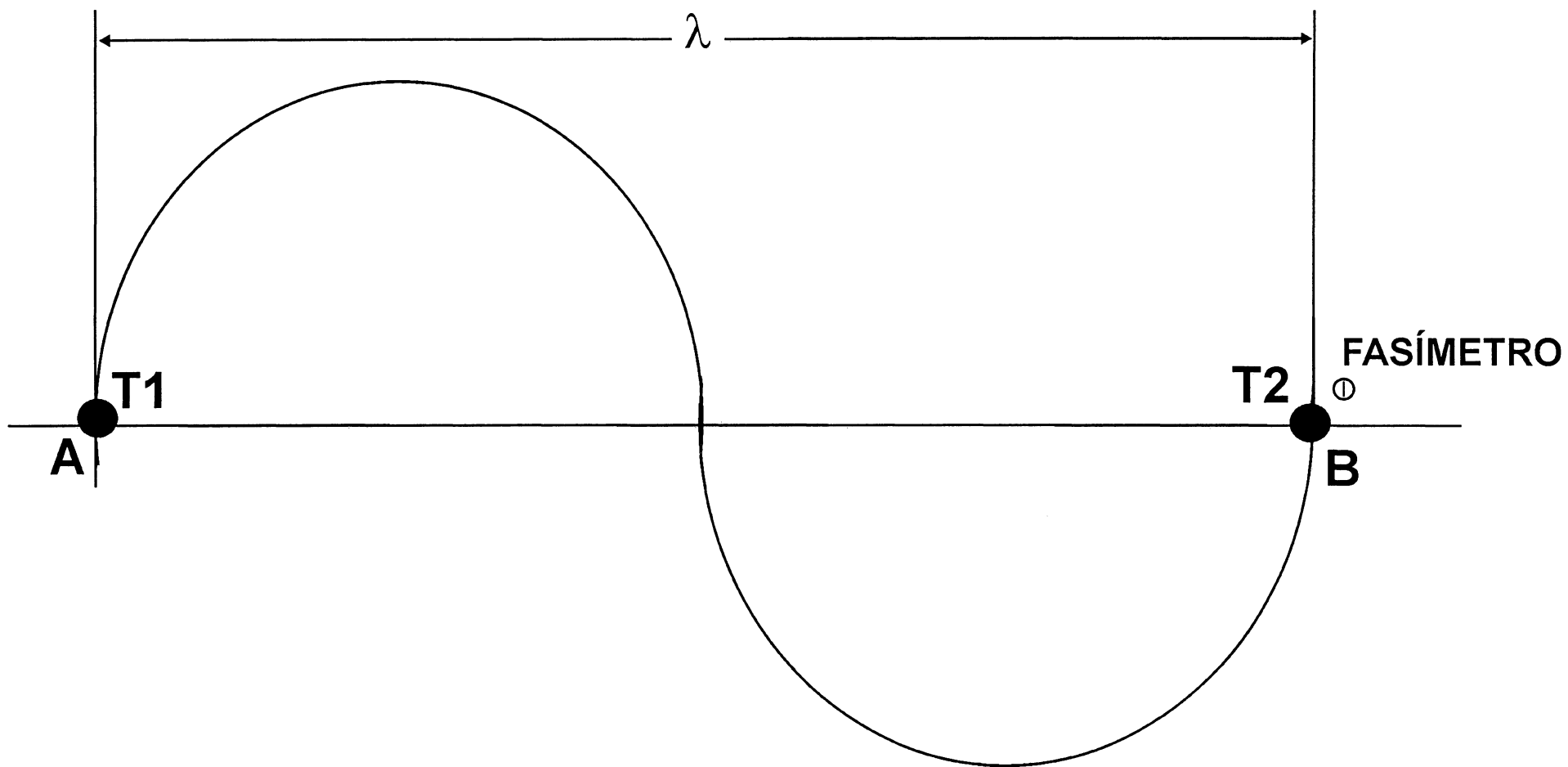


FIGURA 2.4 - MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA POR COMPARAÇÃO DE FASE

O registrador era do tipo “Brush”, de três canais, sendo geralmente o superior correspondente à parte circular, o central correspondente a parte hiperbólica e, finalmente o inferior à marca de posição.

Embora no registrador havia necessidade de um homem trabalhando nele constantemente, era a garantia de todo o serviço feito, não só no que respeita a erros de leituras por parte dos operadores, mas principalmente devido às perdas de corredor, que podiam ocorrer.

As perdas de corredor, embora em condições normais não fossem freqüentes, eram os resultados de interferências rádio, atmosféricas ou elétricas sobre os sinais que eram comparados.

Durante os intervalos, nos dias em que não havia sondagem, da mesma maneira que eram verificados os ecogramas, também era feita uma verificação cuidadosa nos rolos de papel de registro do Raydist, sendo essa a grande garantia do serviço que de outro modo poderia ser perdido a menos que se pudesse fazer verificações freqüentes por pontos de terra, o que normalmente é impossível.

A verificação sobre o rolo de registro era feita entre duas calibrações, nome que se dá à operação de uma vez determinada a posição do navio por outros meios, ajustar os mostradores do Raydist para os valores correspondentes a essa posição.

Para calibragem os processos para determinação da posição mais usados entre nós são o de dois ângulos horizontais (segmentos capazes) e o de marcação e distância, principalmente quando a distância é pequena.

2.7 - APERFEIÇOAMENTO INTRODUZIDOS NO MODELO I

Era o modelo II o resultado, de aperfeiçoamento, introduzidos no modelo I, resultantes, de um modo geral, da experiência obtida com este equipamento na campanha da

Barra Norte do rio Amazonas e comunicada à Hastings Instruments Co. de Hampton, Virgínia, EUA.

A diferença mais sensível entre os dois modelos consistia no retorno do batimento de 400Hz das estações fixas, no Modelo I para isso era usada transmissão de frequência modulada, modificada para no Modelo II usar amplitude modulada. Esta alteração aumentou o número de unidades das estações fixas e possibilitou maior alcance para uma mesma potência de saída de 100 Watts. Como consequência desta nova modalidade de retorno, a estação móvel teve uma de suas unidades ligeiramente aumentada em suas dimensões físicas, resultante da substituição dos receptores de frequência modulada por unidades de amplitude modulada, além de usar para o batimento da estação móvel um receptor duplo que recebe a transmissão em onda contínua da estação circular e a de onda contínua do próprio transmissor, na frequência 2F.

Ainda no que se refere às estações fixas, as antenas do Modelo II eram torres de 100 pés, em seção de 10 pés, com o respectivo plano de terra, o que exigia uma área maior para instalação da estação. Na campanha do Banco Volage, devido à exigüidade da área para localização das estações, somente foi possível usar torres com 60 pés e isso não prejudicou o rendimento do equipamento.

Ainda na campanha de Santa Marta a Torres (Carta 1911) foram usadas antenas de 70 pés, conseguindo-se um alcance máximo de 104 milhas marítimas.

Quanto ao método de utilização, não existia diferença entre os dois modelos do Raydist “ER”.

2.8 - RAYDIST TIPO “DM”

Era este o novo tipo de Raydist, instalado nos Navios Hidrográficos construídos no Japão, Sirius e Canopus, ainda o resultado de aperfeiçoamentos introduzidos no

Raydist “ER”, modelo II, utilizando as combinações circular e elíptica de sistema; seus mostradores indicavam diretamente as duas leituras.

R1 - distância em corredores à estação circular fixa.

R2 - distância em corredores à estação hiperbólica.

A determinação da distância em relação à estação circular era feita pela comparação entre os sinais dos receptores R1 e R3 da estação móvel, que respectivamente indicavam o retorno da estação circular e o batimento da própria estação do navio.

A novidade estava na determinação de R2 através da solução elíptica, sendo resolvida mecânica e eletricamente no próprio indicador a equação:

$$R2 = B + 2E - R1$$

Os dois valores R1 e R2 eram indicados nos mostradores, que diferiam dos modelos I e II, por serem totalizadores, indicando os algarismos que compõem os valores. Uma grande vantagem disto era reduzir o trabalho do anotador, que não mais precisava calcular o valor de R2, podendo haver redução de um homem na equipe de sondagem.

Além disso o Raydist DM tinha menores dimensões físicas que o modelo II e menor peso, embora a sua parte eletrônica tivesse se complicado mais, tornando o equipamento mais delicado pelo uso de transistores; isso sem a menor dúvida exigiu pessoal mais habilitado na condução e reparo do equipamento, embora tudo isso seja uma consequência natural para que se consiga maior alcance e maior economia na sua utilização em sondagem.

2.9 - PRECISÃO DOS SISTEMAS RAYDIST

Os mostradores do indicador de qualquer dos tipos de Raydist, proporcionam nas leituras a aproximação ao centésimo do corredor, que é função da frequência $2F$ do trans-

missor instalado na estação móvel, até a presente data temos usado a frequência de 4.127kHz que dá para o corredor um valor igual a 36,346m.

$$f\lambda = 300.000.000, \left\{ \begin{array}{l} f = \text{em hertz} \\ \lambda = \text{em metros} \end{array} \right.$$

$$\lambda = \frac{300.000.000}{4.127\text{kHz}} = \frac{300.000.000}{4.127.000} = 72,692\text{m}$$

$$c = \frac{\lambda}{2} = 36,346\text{m}$$

Como somente usávamos folhas de sondagem nas escalas de 1: 25.000 e 1:50.000, esse valor de corredor satisfazia plenamente e a precisão das medidas era muito maior que a necessária. Ficava portanto a precisão do serviço efetuado mais ligada à interseção dos círculos de posição ou círculos de distância, e embora teoricamente a boa área de localização esteja situada entre os círculos que se interceptam entre 30 e 150 graus, em certos casos temos obtido posições dignas de confiança com interseções de 10 graus.

Deve ser considerado que os erros nas leituras se transmitem de maneira diferente para os dois círculos de distância, assim, o erro de 1 (um) corredor na parte circular se propaga em mesma grandeza sobre o círculo de distancia em relação à estação hiperbólica, enquanto que o erro de 1 (um) corredor na parte hiperbólica não tem influência nenhuma sobre o círculo de distância da estação circular, e, se propaga em dobro, com sinal contrário sobre o círculo de distância à estação hiperbólica.

Em 1958 usávamos, ao projetar a localização das estações para efetuar sondagens em determinada área, sobre um esquema dessa mesma área, traçar dois círculos que passando pela linha base a subentendiam com ângulos de 20 e 160 graus, a figura formada era um crescente, que cobria a área de boas posições, ou melhor de boas interseções para os círculos de distância. Tanto quanto possível o navio somente deveria sondar dentro dessa

área; para as outras áreas deveria usar segmentos capazes, se isto fosse possível, e no caso contrário, as estações deveriam ser mudadas para outros vértices de triangulação de onde permitiam cobrir a área necessária à carta sempre com boa precisão na posição.

No que se refere ao alcance, nos equipamentos de frequência modulada, fica ele limitado pela elevação das estações fixas, considerando as antenas de bordo, normalmente não tendo maior elevação que o mastro do navio; com esses equipamentos, sendo as antenas da estação móvel elevadas de 15 metros pode esperar-se alcances variando de 30 a 50 milhas marítimas, com as estações fixas tendo uma elevação mínima.

Com equipamento “IER”, modelo II conseguiu-se um alcance de 105 milhas, estando as estações fixas elevadas de cerca de 80 metros, e notícias da “Hastings Instruments Co” davam como alcance, para o tipo DM, cerca de 150 milhas com as estações fixas a uma elevação mínima sobre o mar. Estes dois últimos equipamentos usavam amplitude modulada para a transmissão de retorno das duas estações fixas.

Esses valores no entanto podiam não ser constantes para a mesma potência de saída, de 100 watts, dependendo da condutibilidade do solo nas estações fixas, da boa instalação elétrica do navio, da própria eficiência do equipamento e ainda das condições mais ou menos favoráveis para a transmissão rádio. [07]

2.10 - RAYDIST DRS-H

Em agosto de 1970, a DHN recebe o novo equipamento de Raydist DRS, destinado ao NHi “Sirius”.

No desenvolvimento de relações matemáticas as quais existem entre as leituras do indicador de posição Raydist e distâncias físicas representadas em algum sistema Raydist particular, é conveniente primeiro desenvolver uma expressão geral e então simplificá-la para um sistema particular sob estudo.

Um sistema geral único pode ser mostrado como na figura 2.5 e consiste das seguintes unidades, e cada qual pode ser localizada separadamente com respeito às outras unidades.

- 1 - Transmissor (1) CW operando na frequência f
- 2 - Transmissor (2) CW operando na frequência $(nf + a)$
- 3 - Receptor (1) operando em (f) e $(nf + a)$
- 4 - Receptor (2) operando em (f) e $(nf + a)$
- 5 - Fasímetro comparando as fases relativas das saídas dos receptores 1 e 2.

Esses componentes estão arranjados em esboço numa arrumação arbitrária e as distâncias entre eles assinaladas por números. Deve ser notado que cada receptor multiplica o sinal (f) por um fator n antes da mixagem desse sinal com o sinal $(nf + a)$ para obter o heteródino (a) .

Para continuar é necessário que se observe as seguintes definições:

θ_{T1} - fase instantânea de T1 em T1

θ_{T2} - fase instantânea de T2 em T2

θ_{T1R1} - fase instantânea de T1 em R1

θ_{T1R2} - fase instantânea de T1 em R2

θ_{T2R1} - fase instantânea de T2 em R1

θ_{T2R2} - fase instantânea de T2 em R2

α_{R1} - fase instantânea de batimento (a) em R1

α_{R2} - fase instantânea de batimento (a) em R2

α_{R1P} - fase instantânea de batimento α_{R1} na chegada em P

α_{R2P} - fase instantânea de batimento α_{R2} na chegada em P

ψ - diferença de fase instantânea entre α_{R1P} e α_{R2P} medida no fasímetro P.

c_i = velocidade de propagação da onda rádio ao longo do caminho d_i

Logo:

$$\theta_{T1} = 2\pi f t$$

$$\theta_{T1R1} = \theta_{T1} - \frac{2\pi f d_2}{c_2} = 2\pi f t - \frac{2\pi f d_2}{c_2}$$

$$\theta_{T1R2} = \theta_{T1} - \frac{2\pi f d_1}{c_1} = 2\pi f t - \frac{2\pi f d_1}{c_1}$$

$$\theta_{T2} = 2\pi (nf + a) t$$

$$\theta_{T2R1} = \theta_{T2} - 2\pi (nf + a) \frac{d_3}{c_3} = 2\pi (nf + a)t - 2\pi (nf + a) \frac{d_3}{c_3}$$

$$\theta_{T2R2} = \theta_{T2} - 2\pi (nf + a) \frac{d_4}{c_4} = 2\pi (nf + a)t - 2\pi (nf + a) \frac{d_4}{c_4}$$

$$\alpha_{R1} = \theta_{T2R1} - n\theta_{T1R1}$$

$$= 2\pi (nf + a)t - 2\pi (nf + a) \frac{d_3}{c_3} - n2\pi f t + n2\pi f \frac{d_2}{c_2}$$

$$= n2\pi f \frac{d_2}{c_2} - 2\pi (nf + a) \frac{d_3}{c_3} + 2\pi a t$$

$$\alpha_{R2} = \theta_{T2R2} - n\theta_{T1R2}$$

$$= 2\pi (nf + a)t - 2\pi (nf + a) \frac{d_4}{c_4} - n2\pi f t + n2\pi f \frac{d_1}{c_1}$$

$$= n2\pi f \frac{d_1}{c_1} - 2\pi (nf + a) \frac{d_4}{c_4} + 2\pi a t$$

$$\alpha_{R1P} = \alpha_{R1} - 2\pi a \frac{d_5}{c_5}$$

$$= n2\pi f \frac{d_2}{c_2} - 2\pi (nf + a) \frac{d_3}{c_3} + 2\pi a t - 2\pi a \frac{d_5}{c_5}$$

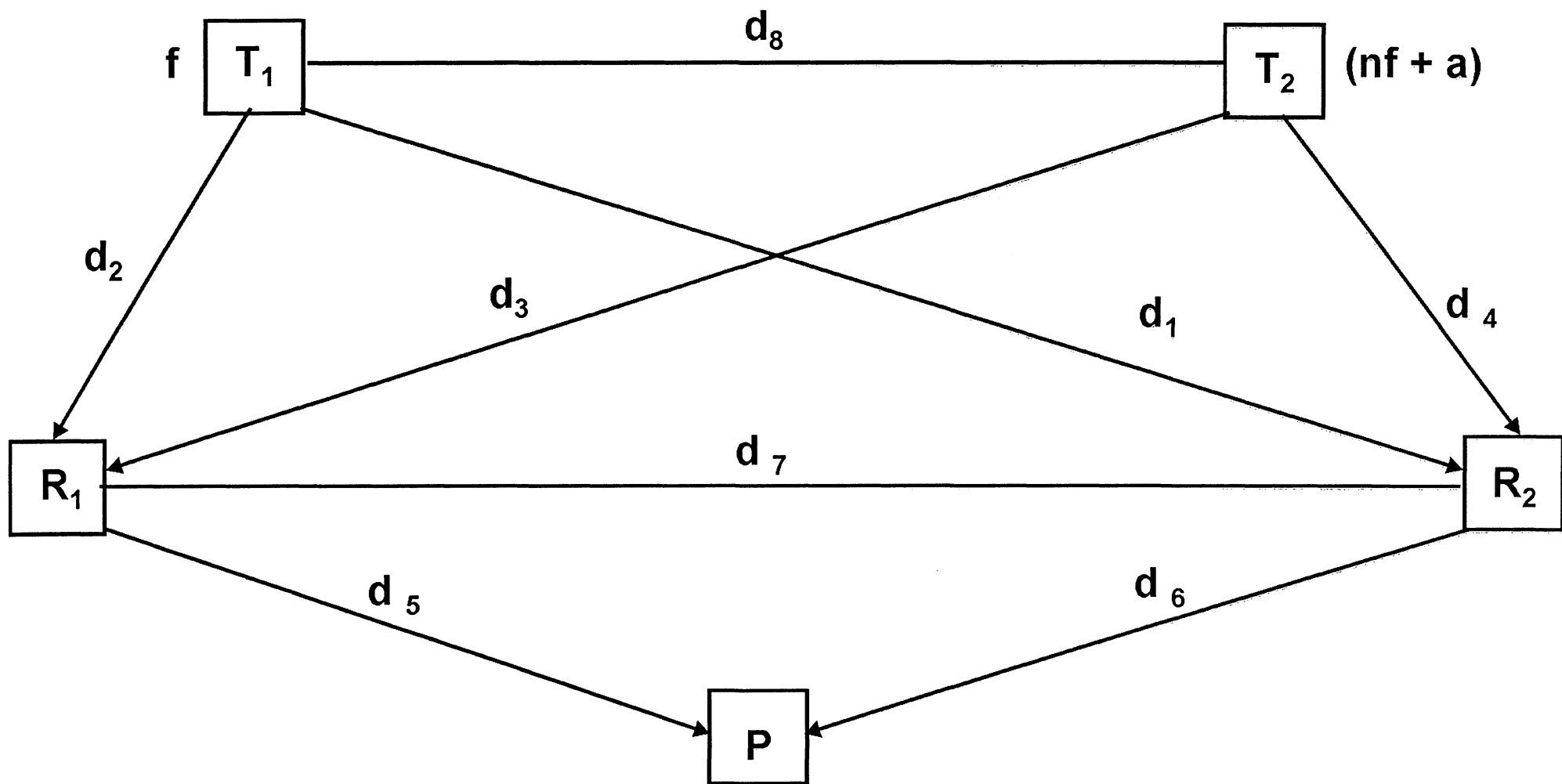


FIGURA 2.5 - UM SISTEMA PARTICULAR GERAL DO RAYDIST

$$\alpha R2P = \alpha R2 - 2\pi a \frac{d6}{c6}$$

$$= n2 \pi f \frac{d1}{c1} - 2\pi (nf+a) \frac{d4}{c4} + 2\pi at - 2\pi a \frac{d6}{c6}$$

$$\psi = \alpha R2P - \alpha R1P$$

$$\psi = n2 \pi f \frac{d1}{c1} - 2\pi (nf+a) \frac{d4}{c4} + 2\pi at - 2\pi a \frac{d6}{c6}$$

$$- n2 \pi f \frac{d2}{c2} + 2\pi (nf+a) \frac{d3}{c3} - 2\pi at + 2\pi a \frac{d5}{c5}$$

Combinando os termos e usando i para denotar o valor de c ao longo de uma trajetória qualquer dada d_i , temos:

$$\psi = \frac{2\pi(nf+a)}{c_i} (d1 - d2 + d3 - d4) + \frac{2\pi a}{c_i} (d5 - d6 + d2 - d1)$$

Essa equação dá o valor de ψ em radianos. Desde que o registrador do fasímetro informa em unidades de 360° de rotação ou mudanças na fase relativa, é conveniente dividir a equação acima por 2π para obter ψ em “revoluções” ou como comumente é referido no sistema Raydist, em distância entre corredores e negligenciando as variações de velocidade c nos diferentes caminhos temos:

$$\psi = \frac{nf+a}{c} (d1 - d2 + d3 - d4) + \frac{a}{c} (d5 - d6 + d2 - d1)$$

O “navegador” do sistema Raydist DRS-H, o qual é parte da estação móvel (navio), informa as medidas continuamente e indica a posição do navio na forma de duas coordenadas de posição as quais são as distâncias da estação móvel a duas estações fixas, geralmente localizadas em terra.

A análise matemática de um sistema generalizado e associado com a figura 2.5, especifica mais a um sistema particular onde T1 e R1 representa o transmissor e o receptor de uma estação fixa e T2, R2 e P representa o transmissor CW, o receptor multicanal e o

indicador de posição respectivamente, da estação móvel, como mostrado na figura 2.5. As distâncias d_2 , d_4 , e d_6 todas tornam-se igual a zero. E d_1 , d_3 , d_5 , d_7 , d_8 , tornam-se todas uma igual às outras e constituirá a distância D_i entre a estação móvel e a estação fixa. E designando a frequência do transmissor CW estação móvel como F_m ao invés de $(nf+a)$, a equação acima poderá ser escrita como

$$\psi_i = \frac{F_m}{c} (D_i - 0 + D_i - 0) + \frac{a}{c} (D_i - 0 + 0 - D_i)$$

$$\psi_i = \frac{F_m}{c} (2D_i)$$

$$D_i = \frac{c}{2F_m} \psi_i, \text{ onde}$$

a constante $\frac{c}{2F_m}$ é a distância

$$\text{entre os corredores Raydist} = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2F_m}$$

$$c = \lambda \cdot F$$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2F_m}, \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

Portanto, as partes do sistema DRS são:

Na Estação Móvel (mestra) - um transmissor CW, o navegador (onde existem os 3 receptores sintonizados nas frequências dos três transmissores do sistema), um registrador de posição, os indicadores de posição e antena.

Na Estação fixa (escrava) - um transmissor CW e um receptor, sintonizado na frequência da estação móvel.

2.11 - RESULTADOS ALCANÇADOS PELOS EQUIPAMENTOS RAYDIST NA DHN

Com esses equipamentos, iniciou-se para a DHN uma nova fase de grande produção no mar, não só porque se passou a trabalhar independentemente da visibilidade, mas também, porque devido ao alcance podíamos efetuar sondagens, com mais precisão, em áreas que de outro modo, somente seriam sondadas com posições determinadas astronomicamente.

Vários são os trechos de nossa costa onde o Raydist foi de um valor inestimável, devido a existência de alto-fundos, parcéis e pedras afastados da costa, em locais de onde esses perigos não estão a vista.

Assim sendo, segue-se uma relação cronológica de levantamentos hidrográficos, onde o sistema Raydist foi de fundamental importância:

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
201	1955	NHi "Rio Branco"
1910	1956	Corveta "Forte de Coimbra"
1900	1957	Corveta "Forte de Coimbra"
210 - 300	1958	NHi "Sirius"
1102	1959	NHi "Argus"
302 - 1403	1959	NHi "Sirius"
303	1959	NHi "Sirius"/NHi
316	1960	"Orion"
1400	1960	NHi "Canopus"
806 - 830	1961	NHi "Canopus"
903	1961	NHi "Canopus"
2000	1961	NHi "Canopus"
2000	1962	NHi "Canopus"
1400	1962	NHi "Sirius"
2000 - 2100	1963	NHi "Canopus"
2112 - 2113	1964	NHi "Argus"
2200	1964	NHi "Canopus"
411	1965	NHi "Sirius"
2111 - 2113	1965	NHi "Argus"
1300	1965	NHi "Canopus"
2140	1965	NHi "Argus"

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
203 - 204	1966	NHi "Canopus"
720	1967	NHi "Sirius"
720	1967	COLENE
1312	1967	NHi "Canopus"
1512	1967	DHN
930	1967	NHi "Taurus"
1321	1967	NHi "Canopus"
1000 - 1003	1967	NHi "Orion "
2140	1967	NHi "Argus"
1512	1968	NHi "Taurus"
400	1968	NHi "Canopus"
1703	1968	NHi "Taurus"
400	1969	NHi "Sirius"
1300	1969	NHi "Canopus"
1512	1969	AHi "Paraibano"
4105	1969	NHi "Taurus"
4105 - 4106	1969	NHi "Argus"
200 - 300	1969	NHi "Sirius"
200	1969	NHi "Canopus"
4101 a 4103	1969	NHi "Orion"
1200 - 1300	1970	NHi "Canopus"
800 - 802 – 810	1970	NHi "Sirius"
205	1971	AHi "Rio Branco"
200	1971	COLAM
200 - 201	1971	NHi "Canopus"
1804	1971	AvHi "Itacurussá"
1804	1972	AvHi "Itacurussá"
100	1972	NHi "Canopus"

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
300 – 700 – 701 - 710	1972	NHi "Sirius"
1830	1972	Nhi "Canopus"
305 - 306 - 4103	1973	COLAM
50 - 90	1973	NHi "Sirius"
230	1973	NHi "Canopus"
400 - 600	1974	NHi "Canopus"
1506	1974	NHi "Sirius"
1507	1974	NHi "Canopus"
500	1975	NHi "Canopus"
1410 – 302 - 303	1975	NHi "Sirius"
201	1975	NHi "Sirius"
600	1976	NHi "Canopus"
700	1976	NHi "Canopus"
1103	1976	NHi "Orion"
1200	1976	NHi "Canopus"
1205	1976	NHi "Canopus"
1210	1976	NHi "Canopus"
1500 - 1201	1976	NHi "Canopus"
1600	1976	NHi "Canopus"
1000	1976	NHi "Sirius" (*)
52	1977	NHi "Canopus"
700	1977	NHi "Sirius" (*)
1105	1977	NHi "Orion"
1420	1977	NHi "Canopus"
1100	1978	NHi "Canopus"
1104	1978	NHi- "Orion"
51 - 1700	1978	NHi "Sirius" (*)

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
100	1978	NHi "Canopus"
1100	1979	NHi "Orion"
1107	1979	NHi "Orion"
1110	1979	NHi "Orion"
210	1980	NHi "Canopus"
300	1980	NHi "Canopus"
1635	1980	NHi "Orion"
1636	1980	NHi "Orion"
1700	1981	NHi "Sirius" (*)
1700	1982	NHi "Canopus"
410	1984	NHi "Canopus"
82	1985	NHi "Canopus"
90	1985	NHi "Canopus"
900	1987	NHi "Taurus"
1400	1987	NHi "Sirius"

(*) Levantamentos Hidrográficos onde o autor participou.

CAPÍTULO 3

MINI-RANGER

3.1 INTRODUÇÃO

O sistema de posicionamento Mini-Ranger, de fabricação da “Motorola Military and Aerospace Electronics”, começou a ser utilizado pela DHN na década de 70, em áreas onde não era possível a utilização do Sistema Raydist, por vários motivos.

O sistema consiste de um console digital, uma estação de bordo e duas estações de apoio a sondagem. As estações de apoio a sondagem, de pequenas dimensões, são instaladas sobre marcos testemunhos com coordenadas perfeitamente conhecidas. O console digital apresenta as distâncias em metros, da estação de apoio, em dois visores. Cabe ao anotador, anotar as distâncias e com essas distâncias plotar numa folha de sondagem, a posição da estação de bordo e a profundidade do local referida a essa posição, pois trabalhando simultaneamente com o posicionador está o ecobatímetro.

3.2 MINI-RANGER MRS --III

O equipamento da motorola, o Mini-Ranger MRS-III, é um sistema de posicionamento eletrônico circular por microondas, utilizado no método eletrônico para a determinação da posição da embarcação em levantamentos hidrográficos normalmente em áreas marítimas restritas, devido à sua precisão na determinação da posição. Ver figura 3.1

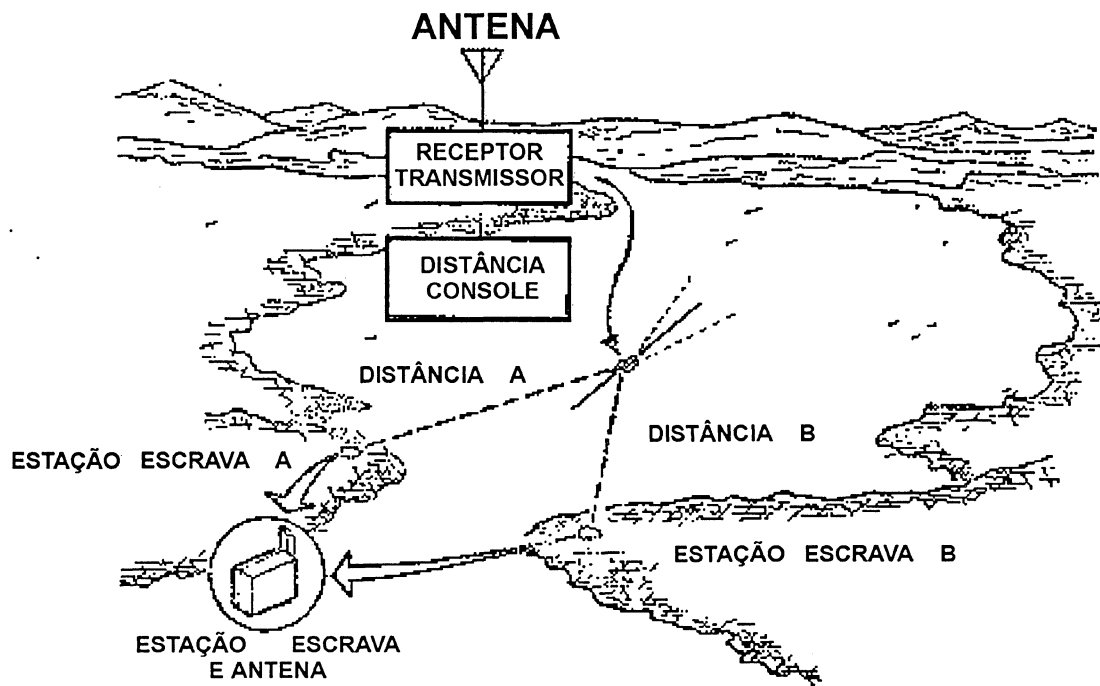


FIGURA 3.1 - REDE MRS III

Os Sistemas de Posicionamento Eletrônico de Curto Alcance operam na faixa de microondas na qual o alcance está limitado à linha de visada rádio, ligeiramente superior à linha visada visual. O alcance de um determinado sistema dependerá das altitudes das antenas da unidade móvel e das estações de terra e da potência de saída do sistema. Uma velocidade de propagação é assumida, baseada normalmente num índice de refração atmosférico de 1,00033, e são incorporados aos equipamentos, cristais nas frequências de medida, para permitirem uma leitura direta em unidades de distância.

Desde que as informações de distâncias são necessárias na unidade móvel para orientarem as linhas de sondagem a serem seguidas, o equipamento de controle, processamento e leitura fica situado nesta unidade, tornando-se portanto, a unidade móvel a estação mestra do sistema e ficando as estações de terra como escravas (ou remotas), que necessitam ou não serem guarnecidas.

As distâncias entre a unidade móvel e as estações de terra são medidas indiretamente, pelo intervalo de tempo decorrido entre a transmissão de uma interrogação, gerada na mestra e a recepção da resposta da escrava.

O sistema do motorola mini-ranger MRS-III, opera sob o princípio básico do pulso radar.

Os equipamentos consistem de um conjunto transmissor/receptor ligado a um console digital, ambos instalados na, unidade móvel (estação mestra) e de dois transponders instalados em estações de terra de coordenadas conhecidas (estações escravas). O console digital indica, de forma quase contínua, as distâncias em metros da unidade móvel às duas estações de terra.

O intervalo de tempo decorrido entre a transmissão da interrogação gerada no conjunto transmissor/receptor do equipamento e a recepção da "resposta" de cada transponders é utilizado com base para determinação das distâncias a esses transponders.

Estas informações de distâncias, juntamente com as coordenadas dos locais onde estão instalados os transponders, permitem que, por meio de trilateração, se obtenha a posição precisa da unidade móvel.

3.3 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Num equipamento de posicionamento eletrônico por microondas, consiste basicamente, como já foi citado, de um conjunto transmissor/receptor, normalmente com antena onidirecional, um console de distancias, com indicação digital, e dois transponders, com antena direcional.

3.4 DESCRIÇÃO ABREVIADA DA OPERAÇÃO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO DE CURTO ALCANCE

a) Um sinal de interrogação é gerado no conjunto transmissor/receptor e transmitido através de antena onidirecional. Uma pequena parte do sinal transmitido é filtrada para o receptor e vai servir como pulso de partida para “contador de distâncias”, situado no console digital. Ver figura 3.2.

b) Os transponders recebem o sinal transmitido em uma determinada frequência, o amplificam e o retransmitem de volta em uma frequência diferente.

c) O sinal transmitido pelo transponders é recebido no receptor do conjunto transmissor/receptor e vai servir como pulso de parada para o “contador de distâncias” localizado no console digital. O transmissor e o receptor são sintonizados em frequências diferentes, de modo que o receptor jamais receberá ecos da transmissão.

d) O contador de distâncias no Console Digital transforma o intervalo de tempo decorrido entre o pulso de partida e o pulso de parada em distância em metros, apresentada num mostrador luminoso. Para diminuir o desvio médio da distância o contador armazena várias medidas, calcula a média entre elas e apresenta este resultado no mostrador luminoso.

e) A velocidade com que as medidas são apresentadas pode ser regulada de uma por segundo até uma em cada dez segundos.

f) Do contador de distâncias as medidas, em “binary coded decimal” (bcd) são também levadas a conectores de onde podem ser retiradas para uso em outros equipamentos (impressoras, computadores, gravadores de fita magnética, etc ...).

3.5 DETALHES SOBRE A INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTO

a) Alimentação: Console Digital – 101/220 VAC ou 24 a 30 VDC

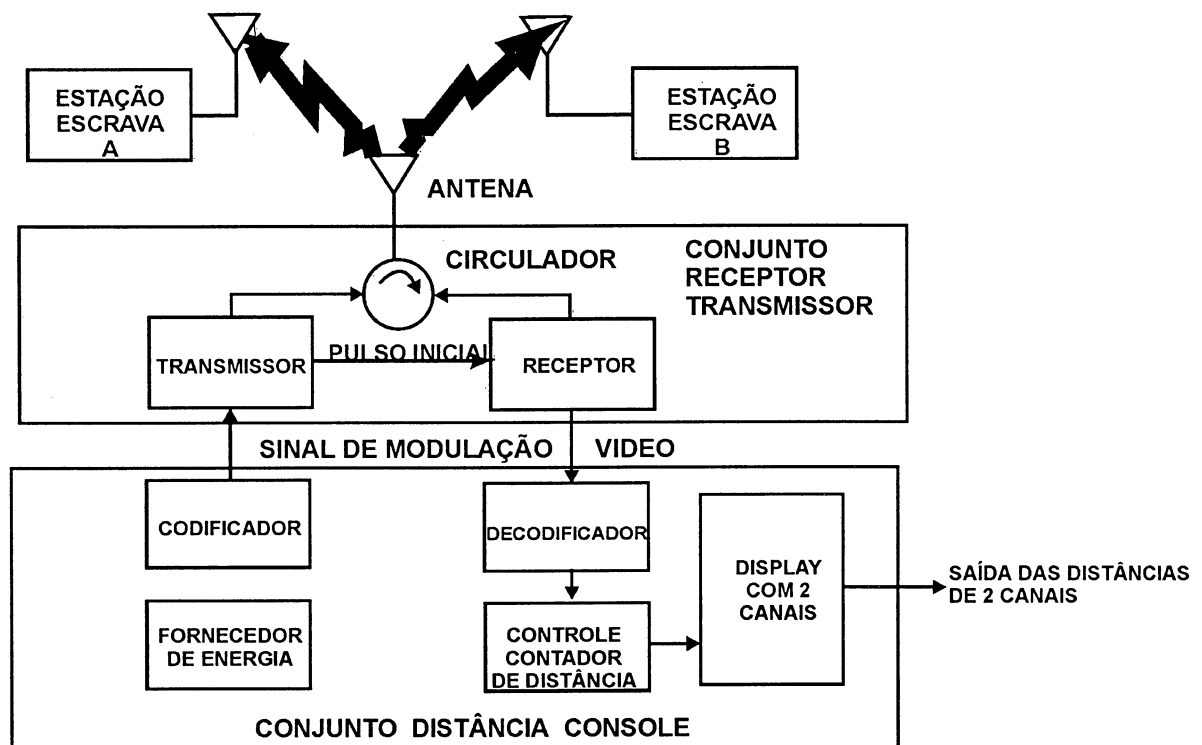


FIGURA 3.2 - DIAGRAMA EM BLOCO DO MRS III

Transponders - 24 a 30 VDC

O próprio console digital provê energia para o conjunto transmissor/receptor

b) Como os equipamentos de posicionamento eletrônico de curto alcance operam em frequência de microondas, o alcance do sistema está limitado à linha de visada.

Em virtude disto, o conjunto transmissor/receptor com sua antena onidirecional deve ser instalado no ponto mais alto da unidade móvel, de forma que não haja qualquer obstáculo interposto entre a antena e os transponders, em qualquer posição que a unidade móvel se encontre. Da mesma forma, os transponders, com sua antena direcional, devem ser instalados nos locais mais altos possíveis, para aumentar o alcance do sistema.

c) Como as antenas dos transponders são direcionais (normalmente com irradiação de cerca de 80 graus em azimute e cerca de 15 graus em elevação), os transponders devem ser convenientemente orientados para a área de trabalho caso necessário, eles devem ser reorientados para que o trabalho possa ser completado.

3.6 CALIBRAGEM DOS EQUIPAMENTOS

Para manter a precisão de um sistema é necessário calibrá-lo periodicamente, devendo para isso serem utilizados dois pontos entre os quais se conhece a distância com precisão. Instala-se o conjunto transmissor/receptor num dos pontos, ligado ao console digital e os transponders no outro ponto, um a um, e atua-se no equipamento, em lugar próprio, de modo a fazer a distância indicada no console coincidir com o valor conhecido.

Se possível, um sistema deve ser calibrado a uma distância aproximadamente igual aquela em que vai ser operado.

Sempre que se recebe um equipamento sua calibragem deve ser verificada e, se necessário ajustada.

A calibragem de um equipamento deve também ser checada, a cada 200 horas de funcionamento ou a cada três meses que o equipamento permanecer parado, sem funcionar.

A precisão de um sistema de posicionamento eletrônico por medida de tempo situa-se em torno de ± 3 metros; desde que o equipamento esteja convenientemente calibrado. Isto permite que um destes equipamentos seja utilizado em levantamento de escala até 1:2000 (precisão 1,5mm na escala do levantamento).

O alcance de um sistema depende, como já citado, das altitudes das antenas da unidade móvel e dos transponders e da potência do sistema.

O alcance normal de um sistema está na ordem de 20 milhas náuticas. Caso se aumente a potência das antenas dos transponders e se coloque uma antena direcional rotativa na unidade móvel, pode-se chegar a alcance da ordem de 100 milhas náuticas, desde que haja linha de visada entre a unidade móvel e os transponders.

3.7 PLOTAGEM DA POSIÇÃO

O posicionamento obtido com a utilização de um sistema de Posicionamento Eletrônico por Medida de Tempo pode ser definido como circular, pois a unidade móvel estará em uma das duas interseções das duas circunferências que têm como centros as posições dos transponders (instalados em pontos de coordenadas conhecidas) e como raios as distâncias apresentadas nos mostradores do Console Digital.

As posições podem ser pioradas graficamente utilizando-se cintéis centrados nas posições dos transponders e com aberturas iguais as distâncias correspondentes às posições na escala do serviço.

Mais comumente, são traçados nas plantas batimétricas circunferências correspondentes à determinadas distancias inteiras, sendo os valores intermediários interpolados, utilizando-se um plotador especial, graduado na escala do serviço.

As posições também podem ser plotadas automaticamente, introduzindo-se os dados de distâncias num computador, que comandará um “ploter”.

3.8 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Os equipamentos Motorola trabalham com emissão de pulso-radar, usando uma unidade transmissora de sonda X, localizada na unidade móvel, que interroga os dois transponders.

O intervalo de tempo entre a interrogação e a resposta de cada transponder é a base para a determinação da distância (em metros) entre a estação móvel e os transponders.

3.8.1 Teoria de Operação

O sistema consiste de uma unidade transmissor/receptor e antena ligada a um console digital e duas estações de terra (transponders) e antena que são instalados em locais de coordenadas conhecidas. O console indica a distância do navio às duas estações, de forma quase contínua.

O sistema utiliza, para permitir a identificação das respostas de cada transponder de um código, na forma de frequência de microondas ondulada por pulsos, ou seja, durante cada pulso é transmitido um número de ciclos microondas, determinado pela largura do pulso.

Nesse sistema de codificação a estação de bordo transmite três pulsos com espaçamento determinado de cada vez. Cada transponder é ajustado para receber e reconhecer a apenas um código, portanto há um determinado espaçamento entre os três pulsos. O transponder, após reconhecer o seu código responde com dois pulsos de espaçamento também definido.

O espaçamento entre o 1º e o 2º pulso é o código; o espaçamento entre o 2º e o 3º pulso é de 50ms.

ESPAÇAMENTO ENTRE

1º e 2º pulsos		2º e 3º pulsos
1	59 ms	50 ou 54 ms
2	70 ms	50 ou 54 ms
3	80 ms	50 ou 54 ms
4	88 ms	50 ou 54 ms
		50 ou 54 ms

Se o transponder estiver a 7492 metros da estação de bordo, o último pulso será transmitido quando o primeiro estiver sendo recebido, neste caso o intervalo entre o segundo e o terceiro é trocado para 54ms e trocado novamente para 50ms , caso a distância seja de 8092 metros. É possível também interromper o transponder com um único pulso, no entanto, é necessário que o transponder seja modificado.

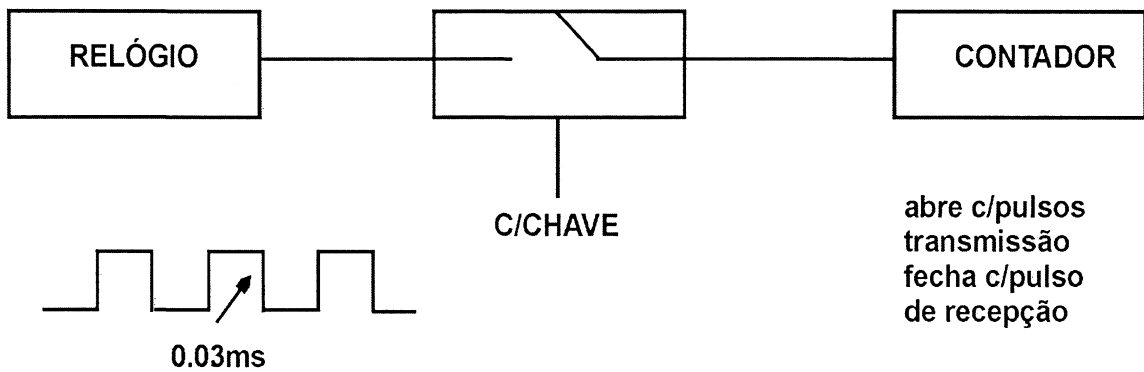
Os códigos para cada transponder são selecionados por uma chave no painel do console, após ajuste no próprio transponder .

O tempo transcorrido entre a transmissão e a recepção na estação de bordo é contado, convertido em metros e apresentado em um display no console.

A chave seletora de código atua no codificador que forma os pulsos de interrogação, com o espaçamento correto, que são encaminhados por caso ao modulador na unidade R/T. O modulador age sobre a magnetron produzindo a transmissão dos pulsos.

O sinal é recebido pelo transponder, amplificado, detetado e se o espaçamento estiver correto para o código que o transponder foi ajustado, o decodificador emite um pulso que permite ao modulador disparar a resposta.

Quando da transmissão do último pulso na estação de bordo, parte da energia passa para o receptor e é levada sob a forma de um pulso, por cabo, ao decodificador do console onde é encaminhado ao controle do contador de distância. Este pulso abre a chave que permite a passagem, dos pulsos do relógio para o contador.



A frequência do relógio é $30 \text{ MHz} = 30 \times 10^6 \text{ Hz}$, portanto cada pulso tem o período de $\frac{1}{f} = \frac{1}{30 \times 10^6} = 0,03 \text{ ms}$.

Durante este tempo o pulso de radar propaga-se 10 metros no espaço ($V = \frac{D}{T} \therefore D = V \times T$) ou ($D = 3 \times 10^8 \times \frac{1}{30 \times 10^6} = 10 \text{ m}$), 5m ida e volta. O sistema opera na faixa de 5400-56000 MHz.

O contador armazena o número de pulso recebidos, portanto, o número armazenado no contador multiplicado por 5 é a distância do transponder em metros.

O sinal transmitido pelo transponder é recebido na R/T, amplificado, modulado, levado por cabo ao decodificador, no console, que verifica o espaçamento entre os pulsos. Se estiver correto emite um sinal que fecha a chave no cartão controle do contador de distância, inibindo a passagem do relógio ao contador.

A precisão no sistema depende do relógio interno. Se o pulso que fecha a chave chegar durante o meio ciclo em que o sinal está em 1 lógico o contador de distância, somará 1 ao número armazenado.

No entanto se o pulso inibidor chegar, durante o meio ciclo em \emptyset é lógico, o ciclo já teria iniciado, mas não seria detetado pelo contador. Esta imprecisão de meio ciclo corresponde a 2,5 metros.

A definição do sistema portanto é $\pm 2,5$ metros.

Após cada ciclo o contador é zerado para permitir novas leituras.

Durante a passagem do sinal pelos cabos e circuitos dos transponder um tempo de cerca de 2ms é gasto sem que o sinal esteja realmente se propagando pelo espaço.

Uma linha de retardo ajustável produz um atraso correspondente no pulso que inicia a contagem de tempo. Esta linha de retardo é ajustada pelo painel e permite a calibração do sistema.

3.9 RESULTADOS ALCANÇADOS PELO SISTEMA MINI-RANGER III DA MOTOROLA.

Mostramos a seguir, uma relação cronológica de levantamentos Hidrográficos, onde o sistema MRS-III da Motorola foi de fundamental importância no posicionamento das nossas embarcações:

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
400	1972	DHN
701	1972	NHi "Sirius"
203	1973	COLAM
400	1973	NHi "Sirius"
1512	1973	NHi "Canopus"
1601	1973	AvHi "Itacurussá"
1512 - 1615	1974	DHN
413	1974	NHi "Sirius"
42 - 204 - 4101	1974	COLAM
1701	1974	AvHi "Itacurussá"
3241 - 3248	1975	AvHi "Caravelas"
1822	1975	AvHi "Itacurussá"
4300	1975	COLAM
303 - 304	1975	COLAM

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
305	1975	COLAM
1821	1975	NHi "Orion"
901	1975	NHi "Orion"
902	1975	NHi "Orion"
930	1975	NHi "Orion"
1109	1975	NHi "Orion"
1511	1975	NHi "Orion"
1512	1975	NHi "Orion"
2101	1975	NHi "Sirius"
4400- 4500	1975	COLAM
4111- 4112	1976	COLAM
4108- 4109	1976	COLAM
4107	1976	COLAM
1508- 1107 -1108	1976	NHi "Orion"
1632 - 1636	1976	NHi "Taurus"
1821	1976	NHi "Canopus"
4114 - 4113	1976	COLAM
1000	1976	NHi "Sirius"(*)
1201	1976	NHi "Canopus"
1600 – 1616	1977	NHi "Orion"
204	1977	AvHi "Itacurussá"
316 - 320	1977	COLAM (AvHi "Nogueira da Gama")
1632 – 1607 - 1621	1977	NHi "Taurus"
4341	1978	COLAM
1633	1978	NHi "Taurus"
1700	1978	NHi "Sirius"(*)

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
4103	1978	AvHi "Nogueira da Gama"
4361	1978	COLAM
504 – 515	1978	NHi " Sirius " (*)
4106	1978	AvHi "Paraibano"
1402 – 1512	1978	AvHi "Camocim"
303 - 304	1979	COLAM
1631 - 1634	1979	NHi "Taurus"
802	1979	DHN
1820 -1501- 1511 - 1823 1531 -1532.	1979	AvHi "Camocim"
1110	1979	NHi "Orion"
2791 - 2792	1979	DHN
600	1980	Nhi "Taurus"
701	1980	Nhi "Taurus"
901	1980	Nhi "Taurus"
1003	1980	Nhi "Canopus"
1512	1980	AvHi "Camocim"
1601	1980	NHi "Orion"
2101 – 2102 2105 -2140	1980	DHN
4110	1980	COLAM
202 – 203 - 304	1980	COLAM
1622	1980	NHi "Orion" (*)
320 - 4400	1981	COLAM
1622 - 1623	1981	AvHi "Camocim"
1641 – 1642 - 1643	1981	NHi "Taurus"

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
1700	1981	NHi "Sirius" (*)
1804 - 1908	1981	NHi "Orion"
802	1981	NHi "Canopus"
1002 - 1511	1981	NHi "Canopus"
1102 - 1103	1981	NHi "Taurus"
1512	1981	AvHi "Camocim"
2101	1981	DHN
305 – 306	1982	COLAM
316 - 320	1982	COLAM
1700 - 1702	1982	NHi "Canopus"
1703	1982	NHi "Canopus"
1801	1982	NHi "Taurus"
1801 – 1901 - 1903	1982	NHi "Orion" (*)
1904 – 1908	1982	NHi "Orion" (*)
4101 – 4103	1982	COLAM
205 – 206	1982	COLAM
4102	1982	COLAM
4400	1982	COLAM
830 – 1401	1982	NHi "Taurus"
930 - 1420	1982	NHi "Orion"
1103	1982	NHi "Orion"
1501 – 1512 - 1515	1982	AvHi "Camocim"
4107 – 4108 - 4109	1982	COLAM
4107 – 4108	1983	COLAM
4111 - 4112		
4113 - 4114		
2101 a 2109	1983	NHi "Orion" (*)

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
1511	1983	NHi "Sirius"
1401	1983	Nhi "Taurus"
52	1983	AvHi "Camocim"
201	1983	COLAM
42-205-4101-4102 4104-4105-4106 4401	1983	COLAM
1623 – 1636	1983	DHN
1804	1983	" NHi "Orion" (*)
1805	1983	NHi "Taurus"
4202 - 4203	1983	COLAM
1642	1984	NHi "Orion" (*)
316 – 4103 – 4104 410	1984	COLAM
201	1984	COLAM
244 – 4101 – 4102 4106 - 4341	1984	COLAM
25121	1984	NApOc "Barão de Teffé"
410	1984	NHi "Canopus"
413 – 414	1984	NHi "Taurus"
1170	1984	DHN
1515	1984	AvHi "Camocim"
2109	1984	NHi "Orion" (*)
4107 – 4108 – 4109 4111 – 4112 – 4113 4114	1984	COLAM
800 – 802 – 810 – 930	1985	NHi "Taurus"
1110	1985	NHi "Orion"

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
1201 – 1407	1985	NHi "Taurus"
1511	1985	DHN
1515	1985	NHi "Taurus"
4107 a 4114	1985	COLAM
4501 a 4509	1985	COLAM
25121	1985	NApOc "Barão de Teffé"
201 – 303 – 304 315 – 316	1985	COLAM
1636 – 1637 1632	1985	NHi "Orion"
1804	1985	NB "Mario Seixas"
4100 – 4301 4302	1985	COLAM
304 – 306 – 316	1986	COLAM
1631 – 1633	1986	NHi "Orion"
4102 – 4103 – 4104 - 201- 204 – 205 – 244 – 4105 - 4106 – 4402 - 241 - 242 – 4650	1986	COLAM
CROQUI RIO NEGRO 4109	1986	COLAM
1515 – 1511	1986	" AvHi "Camocim"
1512 – 410	1986	NHi "Canopus"
1501 – 1511	1986	NHi "Orion"
1170	1987	NHi "Taurus"
1511 - 1506	1987	AvHi "Camocim"
1512	1987	NHi " Canopus"
1515	1987	AvHi "Camocim"
201	1987	COLAM.

ÁREA/CARTA	ANO	AUTORIDADE
210	1987	NF "Almirante Graça Aranha"
1801 – 1809	1987	NHi "Orion"
1822	1987	NHi "Orion"
4202 – 4203	1987	COLAM
320	1988	COLAM
25121	1988	NApOc "Barão de Teffé"
1511	1988	NHi "Canopus"

(*) Levantamentos Hidrográficos onde o autor participou.

CAPÍTULO 4

O G.P.S.

4.1 - INTRODUÇÃO

Posições de navios hidroceanográficos podem ser determinadas de diferentes maneiras (quintantes, teodolitos, Motorola mini-ranger, Raydist), usando diferentes instrumentos e sistemas.

No presente capítulo nós vamos nos ater em conceitos, envolvendo determinação de posição através de, ou por meio de satélites artificiais (G.P.S.).

Durante um levantamento hidrográfico, nós hidrógrafos nos preocupamos em grande parte em, como nos posicionar no mar que tipo de sistema e/ou instrumento será o melhor.

O método visual nos limita em distância e também acabamos dependendo de boa visibilidade; o "Mini-Ranger" na distância; o "Raydist", na distância e na possível perda dos sinais, fazendo com que tenhamos que atualmente de recalibrar o equipamento, ou seja recuperar os "corredores" perdidos; como apresentamos nos capítulos 1, 2 e 3.

O G.P.S. surge como um grande instrumento para nós, hidrógrafos. Estudos recentes mostram que a precisão no posicionamento dos nossos navios, utilizando os receptores G.P.S., não fugirá às normas exigidas pela Organização Hidrográfica Internacional, atualmente de "1,5mm" na escala do levantamento.

O G.P.S. poderá ser utilizado por vários navios hidroceanográficos simultaneamente, não haverá limitação com referência a distância da costa, não haverá limitação de tempo (hora), podendo ser utilizado durante as 24 horas do dia. Espera-se igual desempenho do sistema durante o dia e a noite, o apoio logístico com relação a estação de terra não existirá, a não ser quando o utilizarmos no modo relativo, que, mesmo assim, será mínimo quando comparado com os atuais métodos de posicionamento.

Portanto o G.P.S. quando totalmente implementado será de grande utilidade aos serviços hidrográficos substituindo com vantagem o "Raydist", operando no modo absoluto e o "Mini-Ranger" quando operando no modo relativo (diferencial).

Atualmente, "Raydist" e "Mini-Ranger" são os dois únicos sistemas eletrônicos de posicionamento utilizados pelos navios da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

4.2 - HISTÓRICO

O procurado posicionamento no mar, utilizando satélites artificiais, tem início com o lançamento do primeiro satélite em 04 de outubro de 1957, o SPUTNIK I.

No início de 1958, no Applied Physics Laboratories (APL) da John Hopkins University era desenvolvido o Navy Navigation Satellite System (NNSS) também conhecido como Sistema TRANSIT.

Em 1963 o sistema entrou em atividades para a Marinha Americana.

A partir de 1967 teve início sua utilização civil. Os projetos de desenvolvimento foram muito bem sucedidos e resultaram na melhora de predição das órbitas e no desenvolvimento de uma nova geração de satélites.

Até 1980 os satélites lançados eram da série OSCAR. A partir de 1981 começaram a ser lançados também os satélites da série NOVA.

Em junho de 1987, estavam em atividades os satélites OSCAR 3011, 3013, 3020, 3030 e NOVA 3048 e 3050.

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América do Norte planeja manter o sistema em operação até meados da década de 90.

No entanto, em função das limitadas aplicações do sistema e ainda do potencial gerado pelo desenvolvimento de novas tecnologias, o Departamento de Defesa Americano resolveu, no início da década de 70, iniciar o desenvolvimento de um novo e mais poderoso

sistema de posicionamento por satélites. Com este intuito foram fundidos, em 1973, o Programa Timation, da Marinha, e o Projeto 621B, da Força Aérea do E.U.A, ambos estabelecidos em meados de 1965.

O produto resultante desta fusão é o NAVSTAR/G. P. S. - e seu desenvolvimento tem se processado segundo três fases distintas:

FASE I

VALIDAÇÃO DOS CONCEITOS - que corresponde à avaliação do projeto (baseada em simulações), definição de custos e demonstração do valor militar.

A FASE I foi concluída com sucesso em 1979

FASE II

Teste do Sistema Desenvolvimento – onde se tem uma operação limitada a partir de protótipos de satélites e equipamentos de rastreamento.

O programa atualmente (1988) encontra-se na FASE II.

FASE III

SISTEMA COMPLETAMENTE OPERACIONAL

A FASE III tem sido, entretanto por várias vezes adiada, podendo-se afirmar que dificilmente se dará antes de 1990.

A explosão do Ônibus Espacial CHALLENGER em 28 de janeiro de 1986, provocou um grande atraso na implementação da FASE III.

Espera-se que agora com as experiências bem sucedidas dos Ônibus Espaciais “Discovery” e “Atlantis” no final do ano de 1988, o programa sofra uma aceleração na sua implementação.

4.3 - COMPONENTES DE UM SISTEMA UTILIZANDO SATÉLITES ARTIFICIAIS

O Sistema G.P.S. consiste de três grandes segmentos: Segmento Sistema Espacial, Segmento Sistema Controle e Segmento do Sistema do Usuário.

O Segmento Espacial, hoje consiste dos satélites protótipos que estão assim situados:

ORDEM DE LANÇAMENTO	POSIÇÃO NA ÓRBITA	PRN	DATA DO LANÇAMENTO	SITUAÇÃO
1	(C-4)	4	2/78	NÃO OPERANDO
2	(A-4)	7	5/78	NÃO OPERANDO
3	A-3	6	10/78	OPERANDO
4	C-3	8	12/78	OPERANDO AGORA SOMENTE OSCILADOR CRISTAL
5	(C-1)	5	2/80	NÃO OPERANDO
6	A-2	9	4/80	OPERANDO
7		10	2/81	LANÇAMENTO SEM SUCESSO
8	C-2	11	7/83	OPERANDO
9	C-1	13	6/84	OPERANDO
10	A-1	12	9/84	OPERANDO
11	D-1	3	10/85	OPERANDO
12	E	14	2/89	OPERANDO
13	B	2	6/89	TESTE
14	D	16	8/89	TESTE

OBS: DADOS DE SETEMBRO/89

Os satélites funcionais estão em planos orbitais conforme figura 4.1.

Esses planos denominados de A e C, apresentam os setes satélites, 1, 2 e 3 no plano orbital A e 1, 2, 3 e 5 no plano orbital C. Duas posições adjacentes estão separadas por um ângulo de 60 graus.

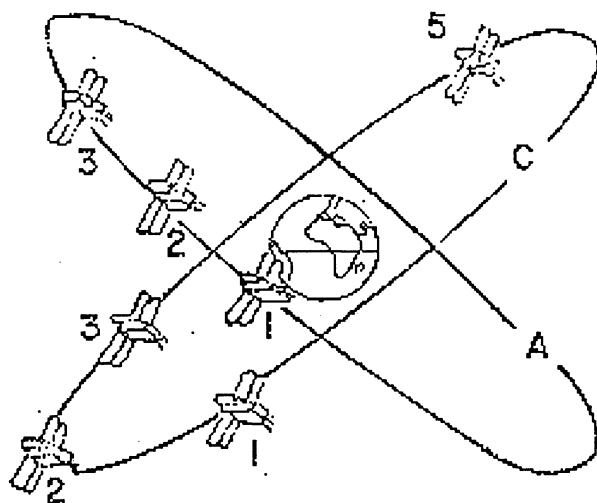


FIGURA 4.1 - A CONSTELAÇÃO DOS SATÉLITES PROTÓTIPOS G. P. S.

A constelação protótipo foi selecionada de maneira tal a dar a melhor cobertura possível, para um dado número de satélites e suas características orbitais, sobre duas áreas de teste militares: a parte sudoeste continental dos E. U. A., e fora da parte nordeste dos E. U. A., no Atlântico Norte. De fato isto providencia um período ininterrupto de cerca de cinco (5) horas por dia durante o qual o G. P. S., pode ser usado sobre a maior parte de toda a América do Norte.

Atualmente (01 de março de 1988) temos a seguintes cobertura no Brasil:

Em Recife: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Latitude } 08 \text{ graus Sul.} \\ \text{Longitude } 035 \text{ graus Oeste} \end{array} \right.$

Cerca de 05:00 - temos 02 satélites

Cerca de 07:30 - temos 04 satélites, e

Cerca de 08:30 - temos 05 satélites, conforme figura 4.2, temos possibilidade de usar o G. P.S. na configuração 04 satélites durante o período de 07:30 às 13:00 hs em Recife.

No Rio de Janeiro: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Latitude } 22 \text{ graus e } 50 \text{ minutos Sul} \\ \text{Longitude : } 042 \text{ graus, } 12 \text{ minutos Oeste} \end{array} \right.$

Cerca de 07:00 já possuímos a configuração G. P. S. com 04 satélites e podemos assim utilizá-lo até as 13:00 hs conforme mostrado na figura 4.3.

Pelo motivo dos satélites G. P. S. circularem a Terra a cada 12 horas, a configuração se repete a cada 12 horas sucessivamente em hemisférios opostos. O período orbital é de cerca de 12 horas do tempo sideral, e devido a diferença entre hora sideral e hora solar, os satélites aparecem cerca de 04 minutos mais cedo a cada dia.

Devido a isso a cada mês, o período de cobertura avançará cerca de 02 horas, ou mais precisamente de 30 minutos por semana.

Os satélites protótipos tem sido lançados até agora por foguetes, entretanto os satélites operacionais supõem-se que serão lançados por ônibus espaciais e foguetes.

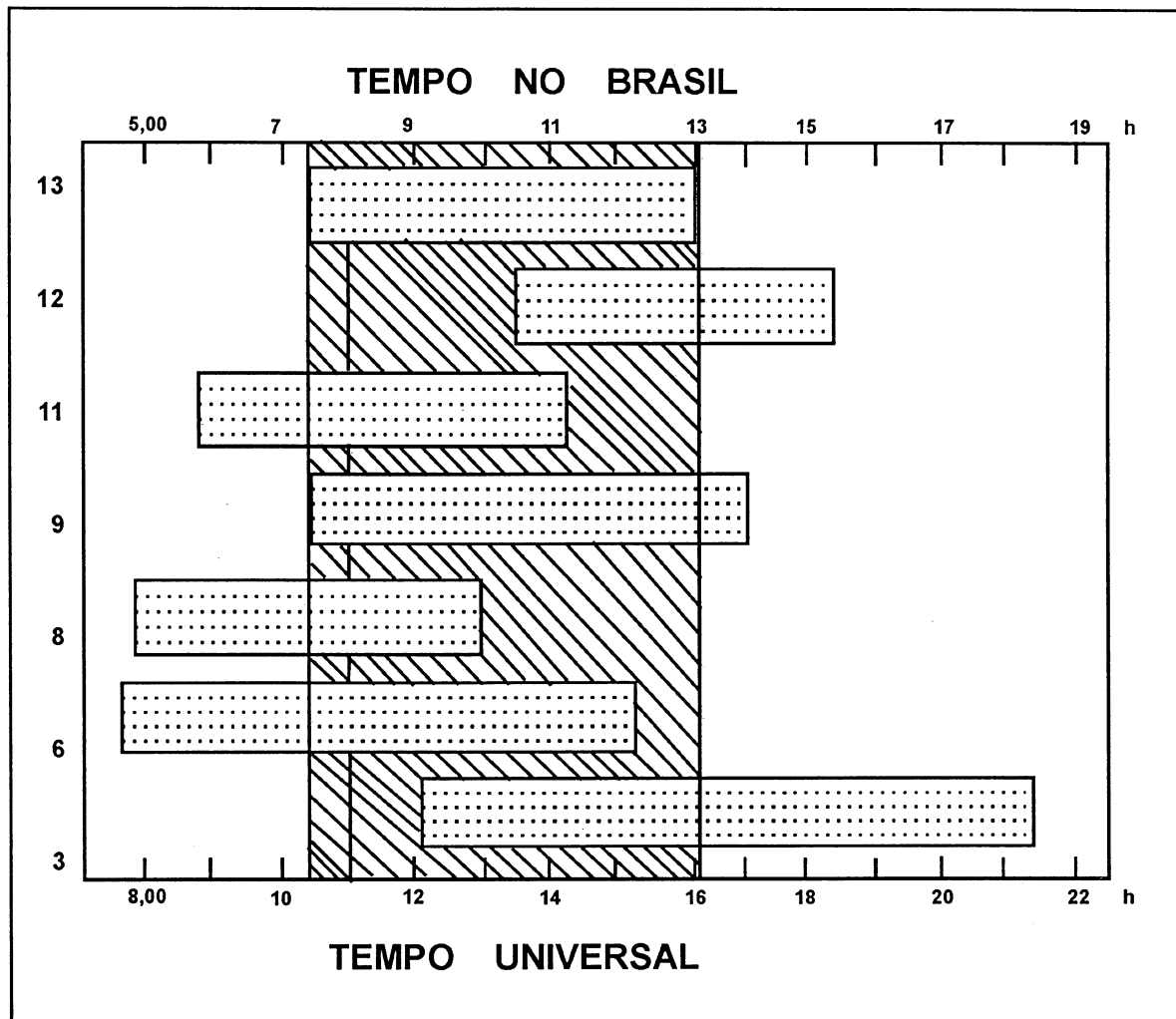


FIGURA 4.2 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES G.P.S EM RECIFE (01/03/88)

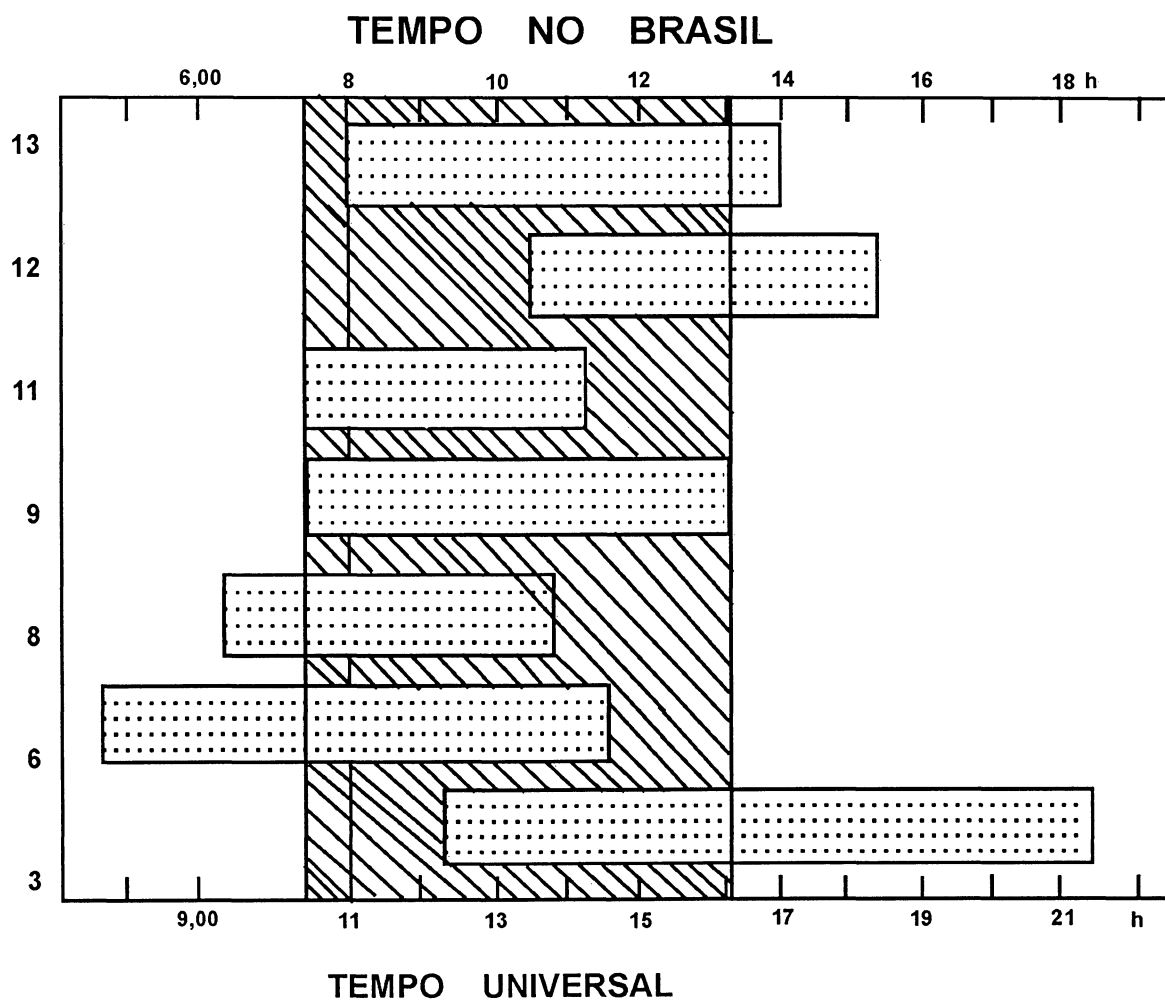


FIGURA 4.3 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES G.P.S NO RIO DE JANEIRO (01/03/88)

Os satélites operacionais espera-se que estejam todos em órbita no início da década de 90 conforme figura 4.4.

Com a constelação total em órbita, no mínimo 4 satélites serão visíveis simultaneamente para qualquer lugar e a qualquer instante para um observador situado na superfície terrestre. A constelação consistirá em 24 satélites posicionados em seis planos orbitais, em cada plano orbital 4 Satélites.

Os satélites estarão em órbita aproximadamente circular, cerca de 20.000 km acima da superfície terrestre. Hoje os satélites do sistema TRANSIT estão posicionados em órbitas polares de cerca de 1.100 km, com um período orbital em torno de 106 minutos.

Para esta configuração, o número de satélites G. P. S., visíveis poderá variar de no mínimo 4 satélites e no máximo 12, acima do horizonte.

Os seis planos orbitais dos satélites G. P. S. estarão inclinados de cerca de 55 graus em relação ao equador e afastados de cerca de 60 graus em relação ao plano orbital vizinho. Então sua separação em ascensão será de cerca de 60 graus.

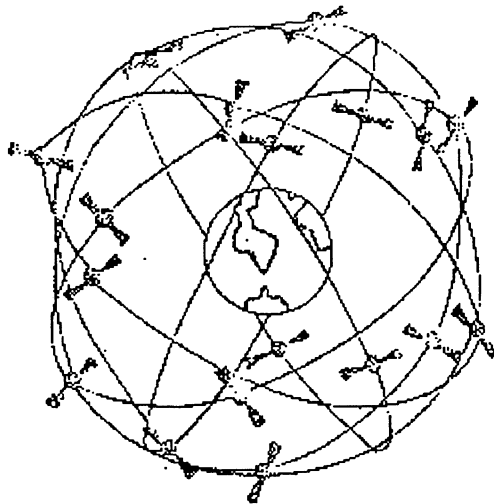


FIGURA 4.4 - A CONSTELAÇÃO G.P.S NO FINAL DA FASE III

A medida angular usada para descrever a posição do satélite em sua órbita é chamada de argumento da latitude. Isto é reconhecido no plano orbital na direção do movimento do satélite referido ao ponto da ascensão do satélite através do plano equatorial. Conforme figura 4.5.

O argumento da latitude é a soma do argumento do perigeu (W) e da anomalia verdadeira (f) e pode ser mais propriamente denominada de argumento do satélite. A separação dos satélites em argumento de latitude dentro de cada plano orbital é cerca de 90 graus, ver figura 4.5. Os satélites em qualquer plano estão acima (em argumentos de latitude) de seu correspondente satélite no plano adjacente a oeste de cerca de 40 graus.

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS ENTRE OS SISTEMAS G. P. S E N.N.S.S. NO SEGMENTO ESPACIAL

	G. P. S.	N. N. S. S. (Transit)
Altitude	20, 200 km	1.100 Km
Período	12 horas sideral	106 minutos sideral
Frequência Transmitida	1575,4 MHz	150 MHz
	1227,6 MHz	400 MHz
Segmento espacial	24 NAVSTARS	4-6 N.N.S.S
Padrão de Frequência	rubidium-cesium	quartzo
Capacidade para navegação	4D,X,Y,Z,t velocidade	2 D LAT, LONG.
Precisão	15m (cód. P)	30-40m (dependendo do erro da informação da velocidade da "plataforma")

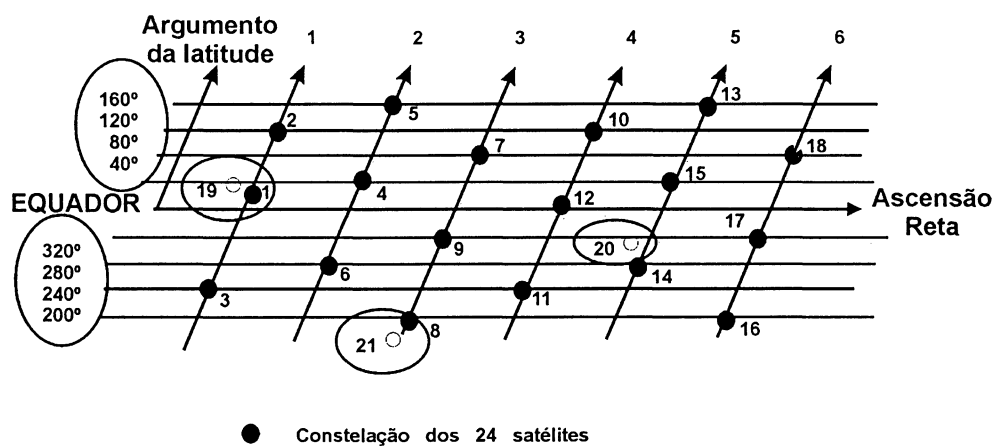


FIGURA - 4.5 - A POSIÇÃO DOS SATÉLITES G.P.S. EM SUAS ÓRBITAS - NO PLANO EQUATORIAL.

O SEGMENTO SISTEMA DE CONTROLE

Propósito do Sistema de Controle

- Controle do sistema do satélite.
- Determinação do tempo do sistema G. P. S.
- Predição das efemérides dos satélites e do comportamento do relógio.
- Injeção de dados da navegação satélite na memória individual de cada satélite.

As cinco estações de controle, ver figura 4.6, do sistema G. P. S. estão localizadas ao redor do mundo, e apresentam três funções:

- Todas as cinco estações são estações monitoras, rastreando todos os sinais G. P. S. para utilizar no controle dos satélites e predição de suas órbitas. O rastreamento é feito através de receptores de duas frequências equipados com osciladores de CESIUM. Dados meteorológicos são também coletados a fim de permitir uma avaliação mais precisa dos atrasos troposféricos. As posições das estações monitoras são conhecidas com altíssima precisão.

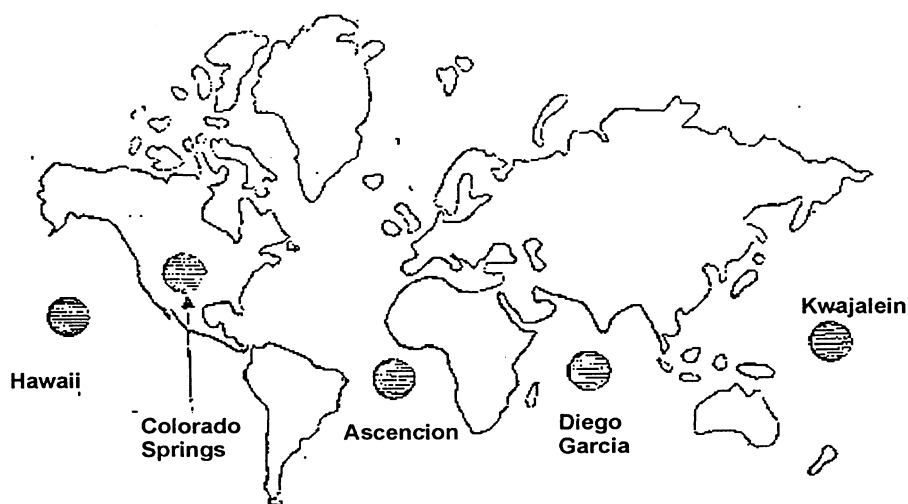


FIGURA - 4.6 - AS CINCO ESTAÇÕES DE CONTROLE G.P.S

- Três dessas estações (ASCENSÃO, DIEGO GARCIA E KWAJALEIN) são capazes de transmitir dados para os satélites, como: novas efemérides, correções para os relógios, e outras transmissões de mensagens de dados e comando de telemetria.

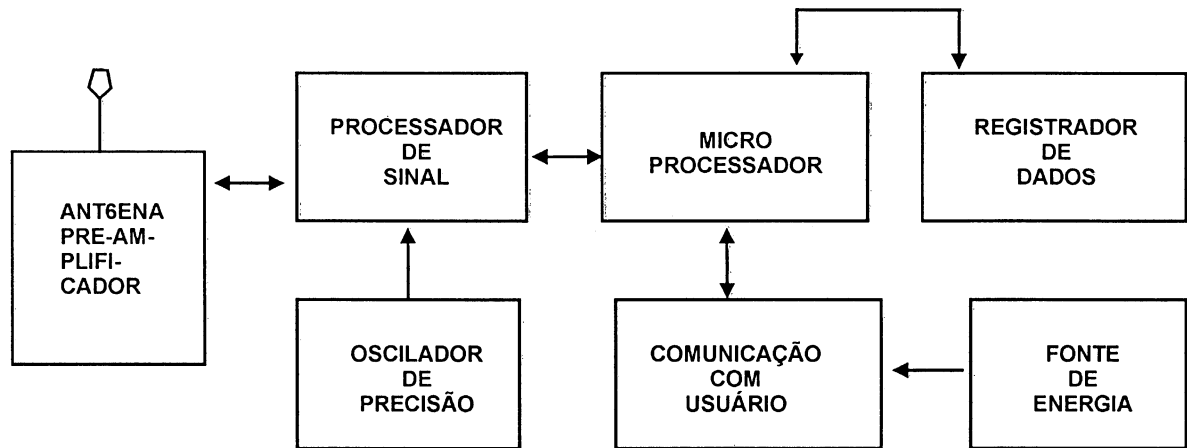
- Uma estação (COLORADO SPRINGS), é a Estação de Controle Mestra.

Dados rastreados das estações monitoras são transmitidos para a Estação de Controle Mestra para serem processados. Este processamento envolve o cálculo das efemérides dos satélites e correções para os relógios dos satélites. A Estação Mestra é também responsável pelo controle das correções orbitais quando um satélite desgarra da posição desejada. Eles também iniciam as manobras necessárias, tendo um satélite "morto", substituí-lo por um reserva.

O SEGMENTO DO SISTEMA DO USUÁRIO

A fim de usar os sinais do satélite G. P. S. para a navegação ou posicionamento geodésico, o usuário deve estar equipado com um receptor apropriado. Os componentes básicos de um receptor são: antena com pré-amplificador, unidade de alta frequência para identificação do sinal e processamento, um microprocessador para coleta de dados, navegação e controle, entrada e saída de dados, unidade de controle de display, registrador de dados, oscilador de alta precisão e entrada de força (energia).

O segmento de controle do usuário portanto se resume no desenvolvimento e testes de receptores eletrônicos e de equipamentos associados exigidos para a performance da navegação. A função destes equipamentos é detetar e adquirir os sinais de navegação dos satélites G. P. S. extrair distâncias, e variações de distâncias, executar correções para refração ionosférica, e calcular coordenadas tridimensionais, velocidade e informar o instante.



Os receptores podem se subdividir em:

- Dependentes do código
- Independentes do código

Outras subdivisões são possíveis concernentes ao tipo de dados utilizados:

- Código C/A
- Código C/A + fase L1
- Código C/A + fases L1 e L2
- Código C/A - código P - fases L1 e L2
- Fase L1
- Fase L1 e L2.

Com respeito as realizações técnicas as subdivisões podem ser:

- Sequencial
- Multiplex
- Multicanal

Receptores dependentes do código são essenciais para o posicionamento no mar.

Exemplos de alguns receptores atualmente disponíveis:

NOME	CANAL	PRINCÍPIO	P	C/A	FASE DA PORTADORA	
					L1	L2
MACROMETER II	6	MULTICANAL	--	--	X	X
TI 4100 (1)	8	MULTIPLEX	X	X	X	X
WM 101	5	MULTICANAL	--	X	X	(X)
WM 102 (X)	8	_____	(X)	(X)	(X)	(X)
T SET	5	MULTICANAL	--	X	--	_____
SERCEL TR 5S	5	MULTICANAL	--	X	X	_____
PRAKLA PS 8400	4	MULTIPLEX	--	X	(X)	_____
MOTOROLA EAGLE	4	MULTICANAL	--	X	(X)	_____
POLYTECHNICS XR1	1	SEQUENCIAL	--	X	-	_____
TRIMBLE 4000 S	4	MULTICANAL	--	X	X	_____
TRIMBLE 4000 SL	5	MULTICANAL	--	X	X	(X)
MINIMAC	8	MULTIPLEX	--	X	X	(X)
SEL	2	SEQUENCIAL	--	X	(X)	_____
SONY	4	MULTICANAL	--	X	-	_____
JRC	1	SEQUENCIAL	--	X	-	_____
ASHTECH S XII	12 + 12	MULTICANAL	--	X	X	X
ASHTECH L XII	12 + 12	MULTICANAL	--	X	X	X

(1) não está mais disponível no mercado

(X) anunciado

4.4 - O POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

Os pré-requisitos para uso dos satélites artificiais são:

- Conhecimento do movimento dos satélites (mecânica celeste e perturbações).
- Descrição das posições (satélites e observadores) nos sistemas de referências adequados.

A frequência fundamental, fornecida pelo oscilador do satélite é de 10,23 MHz.

Oriundo disto, duas frequências portadoras na banda L são derivadas:

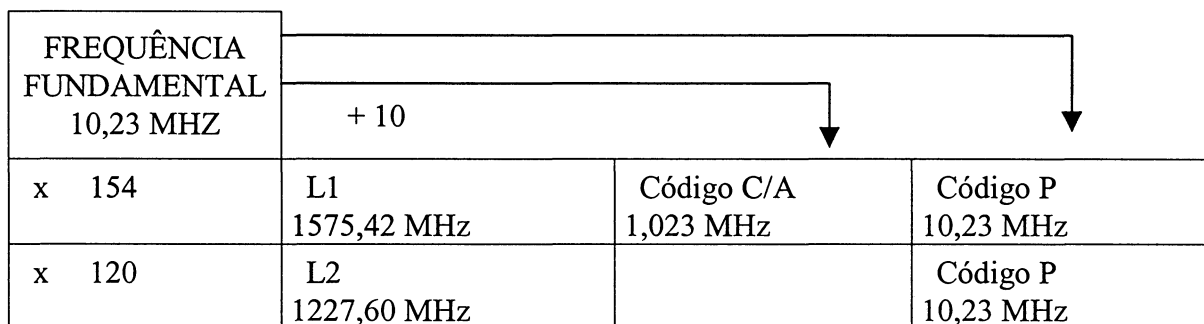
$$L1: 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz} (\lambda = 19,05 \text{ cm})$$

$$L2: 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz} (\lambda = 24,45 \text{ cm})$$

Cada satélite transmite os sinais L1 e L2. Superpostos a estes sinais estão os sinais de navegação (código) bem como dados de navegação e do sistema (mensagem). Os códigos são modulados sobre ondas portadoras assim chamadas de seqüência PRN (Pseudo Random Noise) ruídos falsamente aleatórios.

O sinal L1 contém o código P (Preciso/Protegido) e o menos preciso código C/A (Grosseiro/Aquisição). O sinal L2 contém somente o código - P. A mensagem de navegação contém os parâmetros orbitais (efemérides precisas do satélite), dados para correção da propagação na atmosfera, informação de erros do relógio do satélite e dados sobre o comportamento do satélite.

Mostramos a seguir um diagrama em bloco do sinal do satélite G. P. S.



50 BPS MENSAGEM DO SATÉLITE

Resumido temos: cada satélite transmite duas freqüências para posicionamento: 1575,42 MHz e 1227,60 MHz. As duas portadoras, chamadas, de L1 e L2, são coerentes e moduladas por vários sinais

Os dois sinais L1. e L2, que contém o código P, permitem a medida do efeito da refração ionosférica na propagação das ondas. As separações entre as freqüências tem que ser maior que 20% [13].

Um código PRN (Pseudo Randon Noise), conhecido como Código C/A, consiste de uma seqüência de +1 e -1, emitidos na freqüência $F_0/10$ 1,023MHz, repetindo a cada 1 milissegundo. Um segundo códigoPRN, conhecido como código P, consiste de uma outra

seqüência de + 1 e - 1, emitido na freqüência $F_0 = 10.23\text{MHz}$, que se repete a cada ou após 267 dias, que são subdivididos em 38 segmentos de sete dias, cada um assinalando para um diferente satélite.

A portadora L1 é modulada por dois códigos C/A e P, entretanto L2 contém somente o código P.

Os códigos são modulados sobre as portadoras numa maneira conceitualmente simples. Se o valor é -1, a fase da portadora é mudada para 180 graus, e se é +1 não há mudança na portadora.

Ambas as portadoras carregam a transmissão da mensagem satélite, uma freqüência baixa (50 Hz) leva dados designados a informar aos usuários acerca do comportamento e posição do satélite. Esses dados podem ser decodificados pelos receptores e utilizados para posicionamento em tempo real.

Sabemos que para a utilização de satélites artificiais para o posicionamento no mar, é necessário:

- O conhecimento do movimento dos satélites (mecânica celeste, perturbações).
- Descrição das posições (satélites e observadores) nos sistemas de referência adequados.

No posicionamento por satélite, nós desejamos determinar a posição da antena, conforme figura 4.7.

Desejamos determinar a posição R_i da antena $i(t)$. Conhecemos a posição r_j do satélite $j(t)$ que está emitindo o sinal e temos então que medir o vetor distância p_{ij} entre os dois (antena/satélite). Dependendo de como o vetor distância é medido, temos diferentes técnicas de posicionamento por satélite.

A predição exata da posição do satélite $r_j(t)$ em função do tempo é um propósito aparentemente difícil.

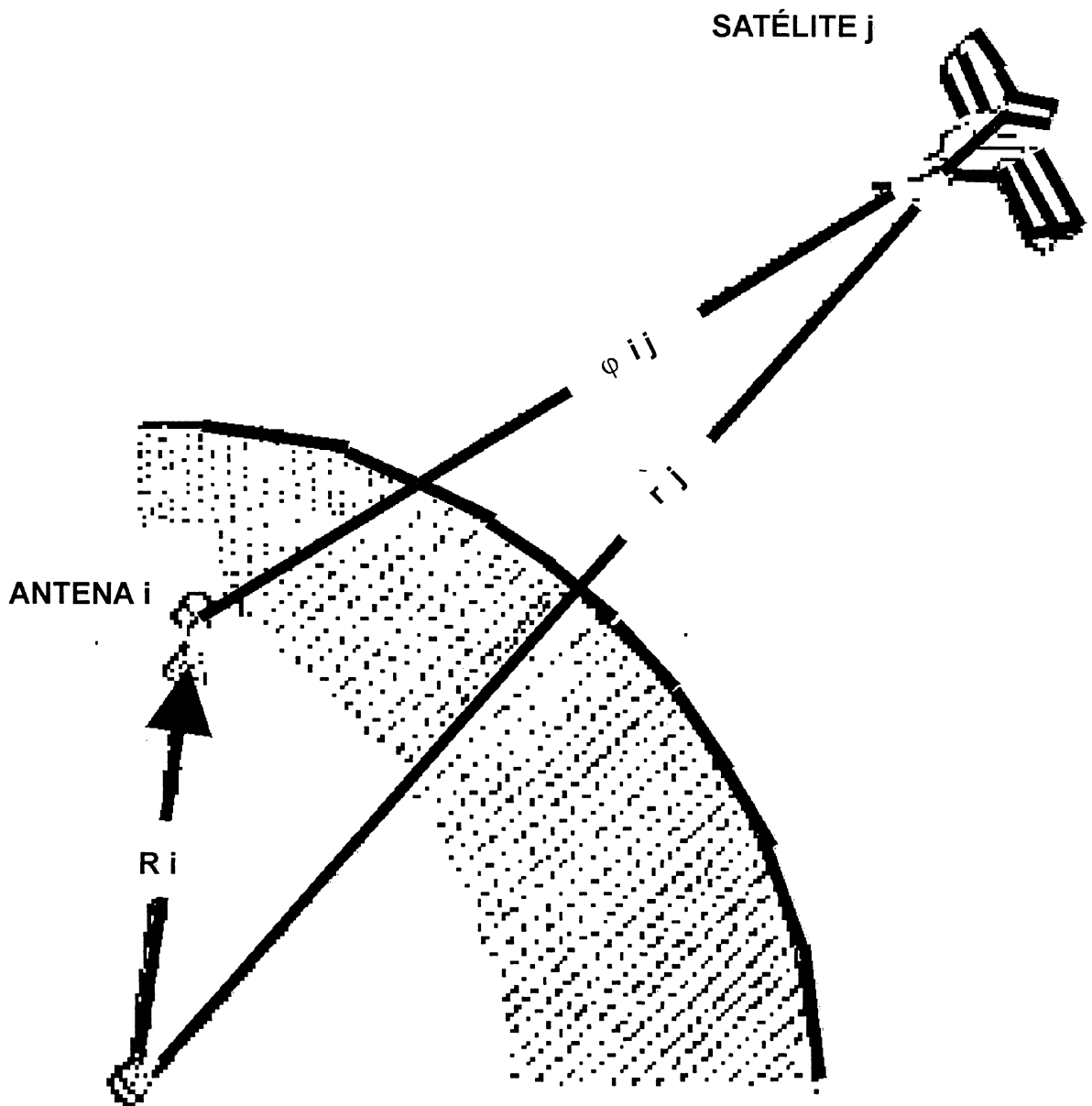


FIGURA - 4.7 - O POSICIONAMENTO POR SATÉLITE

A tarefa de prever as efemérides como o próprio nome diz, é mostrar r_j em função do tempo, chama por um conhecimento especializado da dinâmica do satélite que historicamente pertence ao campo da mecânica celeste. As efemérides são usualmente determinadas e previstas (em tempo) pelos operadores do sistema satélite. É entretanto possível para os usuários do sistema melhorar as efemérides fornecidas. É também possível para os usuários estabelecer uma rede independente de estações rastreadoras, preferencialmente uma única rede global, e calcular as efemérides no modo pósmissão.

É claro que se a antena muda sua posição R_i no tempo (modo dinâmico) então R_i tem que ser continuamente reavaliada. Se a antena é estacionária, então a reavaliação deverá sempre levar ao mesmo resultado (estação de apoio terrestre - que podem ser utilizados no modo relativo), e então teremos uma redundância de resultados.

O Professor Milton de Azevedo Campos na sua tese de doutorado "Controle da Rede Geodésica Brasileira por meio de Satélites do Sistema NNSS", no capítulo onde destaca a transição do posicionamento por satélites NNSS para G. P. S., chama atenção para a necessidade do estabelecimento de uma rede de base G. P. S., para definir um datum geocêntrico e que servirá de base para que receptores G. P. S. realizem a determinação precisa das órbitas dos satélites G. P. S.. [05]

Excelentes resultados tem sido obtidos de observações de distâncias aos satélites. [15].

Quando todos os três componentes de um vetor ρ não são observados simultaneamente, um mínimo de três distâncias não coplanares tem que ser observados para se ter uma posição.

Se R_1 é o vetor posição de uma estação fixa (ponto de apoio), então as três ou mais distâncias não coplanares podem ser medidas em diferentes épocas (tempo) e podem pertencer ou não ao mesmo satélite. Se a antena está se movendo (navio hidroceanográfico-

cos), então para se ter a posição num instante de tempo, chamado de “fix”, as três ou mais distâncias tem que ser medidas simultaneamente.

Os efeitos que limitam a precisão do posicionamento rádio são: o atraso da propagação na atmosfera, desvio no movimento do satélite, erros nos relógios, e erros nas efemérides dos satélites. Algumas dessas causas podem ser reduzidas ou mesmo eliminadas, se o método relativo, para posicionamento de pontos, é utilizado. Então é possível determinar posicionamentos relativos, e também configurações geométricas mais precisas do que localizar esses pontos na superfície terrestre utilizando posicionamento absoluto.

O modo posicionamento relativo no sistema TRANSIT é utilizado com o nome de translocação.

A melhor precisão proporcional atualmente obtida no posicionamento, relativo é 5 a 10 ppm, quando utilizamos o sistema TRANSIT, e 0,1 a 2,0 ppm, quando usando G. P. S.. O modo distância no posicionamento relativo pode ser usado tanto para posicionamento estático quanto o dinâmico.

Observando a figura 4.8 temos:

$$R_1 = r^j - e_1^j \rho_1^j$$

$$R_2 = r^j - e_2^j \rho_2^j$$

$$\Delta R_{12} = R_2 - R_1 = e_2^j \rho_2^j - e_1^j \rho_1^j = \Delta e_{12}^j \rho_{12}^j$$

Se uma posição dinâmica (navio hidroceanográfico) deseja ser conhecida com altíssima precisão, o modo posicionamento por ponto (modo absoluto) pode não ser suficiente. Então o conceito de posicionamento relativo pode ser utilizado. A idéia é utilizar uma antena estacionária como um ponto de referência. O receptor da antena estacionária então rastreia no mínimo os mesmos satélites, assim como faz o "receptor" em movimento.

Preciso conhecimento é assumido para a posição do “receptor” estacionário e o seu comportamento do relógio. As discrepâncias entre as distâncias medidas para cada sa-

télite, e as distâncias calculadas da conhecida posição do receptor estacionário e relógio, e as mudanças aparentes resultantes na posição do receptor estacionário são devido as variações temporais na informação da órbita, atraso atmosférico, e performance do relógio.

O receptor estacionário pode ser considerado como um pseudosatélite (“pseudolite”) e faz transmitir sinais e mensagens codificadas da mesma maneira, como se fossem transmitidas pelos satélites. Sinais do pseudosatélite na frequência G. P. S. são limitadas para aplicação na linha de visada.

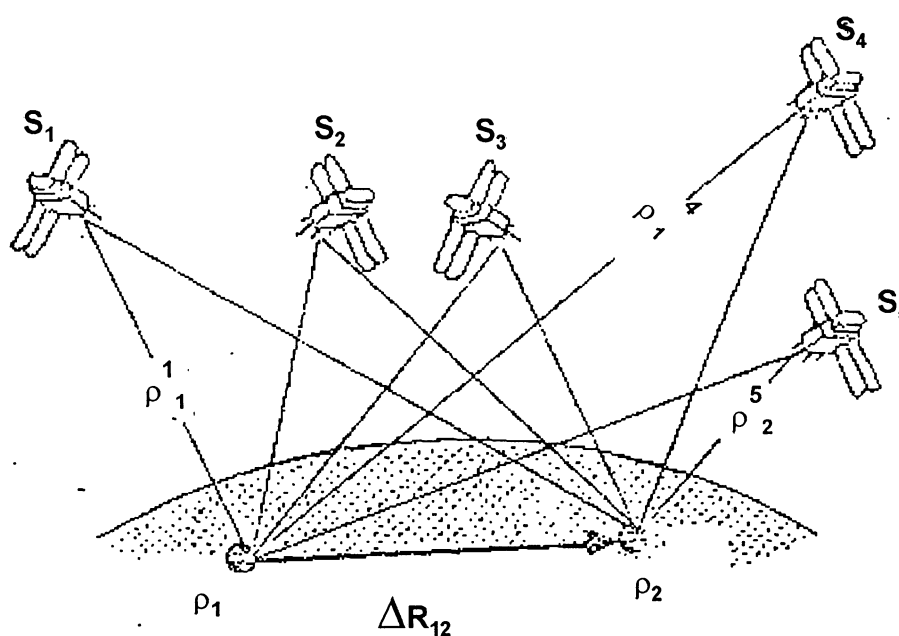


FIGURA 4.8 - O POSICIONAMENTO RELATIVO

4.5 - A GEOMETRIA DO G. P. S. E PRECISÃO

A precisão com as quais as posições são determinadas usando G. P. S. depende de dois fatores:

- a geometria da configuração do satélite; e
- a precisão das medições.

O termo usual para a precisão das medidas para o G. P. S. é o erro da distância equivalente do usuário (UERE - User Equivalent Range Error), que representa os efeitos combinados das incertezas das efemérides, propagação dos erros, erros dos relógios e ruído no receptor.

O efeito da geometria da configuração do satélite é expresso pelo fator de diluição da precisão (DOP), que é a razão da precisão do posicionamento e da precisão das medidas ou:

$$\sigma = \text{DOP} \cdot \sigma_0$$

Onde σ_0 é a precisão da medida (desvio padrão) e

σ é a precisão do posicionamento (desvio padrão em uma coordenada).

DOP é um valor representando a contribuição da configuração geométrica para a precisão do posicionamento.

Existem muitas variedades de DOP. Os DOPs mais comuns são:

VDOP. σ_0 - é o desvio padrão em altura (vertical).

HDOP. σ_0 - é a precisão no posicionamento bidimensional horizontal.

PDOP. σ_0 - é a precisão no posicionamento tridimensional.

TDOP. σ_0 - é o desvio padrão em tempo (hora).

HTDOP. σ_0 - é a precisão no posicionamento horizontal e tempo.

GDOP. σ_0 - é a precisão no posicionamento tridimensional (3D) e tempo (geométrico).

A diluição da precisão (DOP), é uma medida da força geométrica da configuração dos satélites G. P. S.. Isto muda com o tempo, assim como a trajetória dos satélites ao longo de suas órbitas, e de lugar para lugar, desde que a configuração dos satélites é dependente da posição.

Nós queremos que o DOP seja tão pequeno quanto possível.

A informação orbital é exigida para quatro (4) grandes tarefas envolvidas no processo do posicionamento G.P.S: determinação da posição do receptor, planejamento, ajuda na recepção e seleção do satélite.

A natureza da órbita dos satélites depende das três leis de Kepler. Entretanto as leis de Kepler não levam em contas as forças perturbadoras que atuam sobre os satélites tais como o efeito da protuberância equatorial da terra, a atração da lua e do sol, pressão da radiação solar e arrasto na atmosfera.

Precisos dados orbitais são essenciais para a redução das observações coletadas pelos receptores G. P. S. a fim de obter a posição do usuário, a qual é usualmente o produto final procurado no posicionamento G.P.S. No caso de cálculo de posicionamento por ponto, existe uma exigência para informações orbitais precisas, qualquer erro nos dados das efemérides será diretamente transformado para um erro distância equivalente, e portanto esta tendência na posição final resultará numa maneira sistemática.

Para o posicionamento relativo, os efeitos de algumas incertezas nos dados das efemérides nos resultados da posição final serão algo que aliviados porque, para linha - base as quais são pequenas comparadas com a altitude 20.000Km a 25.000Km dos satélites G.P.S., erros orbitais do satélite tenderá a se cancelar. A equação que define o vetor erro dB no vetor linha Base B é: $\rho \text{ dB} = B \cdot dr$ onde ρ denotando o vetor distância e dr denotando o vetor erro na posição satélite.

Portanto esta é uma regra simples que permite analisar como os erros orbitais podem se propagar na medida de uma base B .

Como exemplo, mostramos as tabelas seguintes que mostram os erros admissíveis nas órbitas.

TABELA 4.1

ERRO ORBITAL ADMISSÍVEL PARA 1CM DE ERRO NA LINHA BASE

COMPRIMENTO DA LINHA BASE	ERRO ORBITAL ADMISSÍVEL
0,1 Km	2500,0m
1,0 Km	250,0m
10,0 Km	25,0m
100,0 Km	2,5m
1000,0 Km	0,25m

TABELA 4.2

ERRO RELATIVO NUMA BASE EM FUNÇÃO DO ERRO ORBITAL

ERRO RELATIVO $\frac{db}{b}$	ERRO ORBITAL ADMISSÍVEL
5,0 ppm	125,0m
1,0 ppm	25,0m
0,5 ppm	12,5m
0,1 ppm	2,5m

Obs:A distância ρ foi considerada como sendo aproximadamente igual a 25.000 Km.

Logicamente dB depende não somente das magnitudes de ρ , B e dr porém também de suas direções. Bem como, a solução da linha base depende das medidas de vários satélites sobre um período de tempo (estimado), e os erros das posições dos satélites envolvidos, em geral, serão diferentes.

Na seleção de escolha dos satélites, quando estamos trabalhando com um receptor que pode rastrear quatro (4) satélites simultaneamente, o receptor deve conter um algoritmo

mo que calcula o volume (V) do tetraedro espacial formado nas extremidades dos versores que partem do receptor na direção dos quatro (4) satélites. O GDOP será inversamente proporcional ao volume V, assim a seleção dos satélites que maximiza o valor de V, também minimizará o valor de GDOP.

O mais forte uso do G. P. S. é para o posicionamento de ponto em 4 dimensões (latitude, longitude, altura e tempo). Para este caso o DOP mais apropriado é o GDOP.

Portanto
$$\boxed{\text{GDOP} \sim \frac{1}{V}}$$

A precisão das coordenadas é obtida pela propagação das variâncias das observações [11].

Outra maneira simples de também se calcular o PDOP, HDOP, VDOP, TDOP e GDOP, é através de cálculos da matriz variância - covariância dos parâmetros, tomando a matriz dos pesos das observações como unitária.

$$\begin{array}{c} \text{X} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \\ \text{T} \end{array} \begin{bmatrix} \text{X} & \text{Y} & \text{Z} & \text{T} \\ \sigma^2_{xx} & \sigma^2_{xy} & \sigma^2_{xz} & \sigma^2_{xt} \\ \sigma^2_{yx} & \sigma^2_{yy} & \sigma^2_{yz} & \sigma^2_{yt} \\ \sigma^2_{zx} & \sigma^2_{zy} & \sigma^2_{zz} & \sigma^2_{zt} \\ \sigma^2_{tx} & \sigma^2_{ty} & \sigma^2_{tz} & \sigma^2_{tt} \end{bmatrix}$$

Onde:
$$\text{HDOP} = (\sigma^2_{xx} + \sigma^2_{yy})^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{VDOP} = \sigma_{zz}$$

$$\text{PDOP} = (\sigma^2_{xx} + \sigma^2_{yy} + \sigma^2_{zz})^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{TDOP} = \sigma_{tt}$$

Para um bom posicionamento no mar, aceita-se o fator HDOP, variando de 1,6 a 2,5 [10].

$$\text{GDOP} = (\sigma^2_{xx} + \sigma^2_{yy} + \sigma^2_{zz} + \sigma^2_{tt})^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{PDOP}^2 = \text{HDOP}^2 + \text{VDOP}^2$$

$$\text{GDOP}^2 = \text{PDOP}^2 + \text{TDOP}^2$$

4.6 - O CÁLCULO DAS COORDENADAS DE UM SATÉLITE G. P. S..

Teoricamente um satélite artificial segue uma órbita descrita pelas três leis de Kepler.

A órbita descreve uma elipse, estando a terra situada num dos seus focos.

O raio vetor partindo do centro da massa da terra até o satélite descreverá áreas iguais em tempos iguais.

O cubo da razão entre os dois semi-eixos maiores da órbita elíptica de dois satélites quaisquer será igual ao quadrado da razão dos dois períodos orbitais correspondentes, ou o quadrado dos períodos siderais de dois satélites quaisquer, são proporcionais à suas distâncias médias da terra.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1}{R_2}$$

As três leis de Kepler governariam completamente o movimento de um satélite artificial, caso estivéssemos presente a uma terra "ideal" - um campo gravitacional radial perfeito, sem atmosfera, e sem rotação.

As três leis de Kepler dão somente uma aproximação grosseira das órbitas dos satélites, que serão de pouquíssimo uso nas aplicações práticas. Os métodos científicos utili-

zados para calcular as constantes mudanças de posição de um satélite envolve diferentes princípios conceituais.

Os elementos orbitais Keplerianos, que representam uma órbita aproximada de um satélite, podem ser usados com vantagens no armazenamento e apresentação de informações relativas nas efemérides dos satélites. No caso dos satélites de navegação, tanto as coordenadas precisas quanto as previstas (operacionais) são calculadas em termos de três dimensões X, Y, Z. Portanto as coordenadas previstas ou operacionais são então transformadas num formato Kepleriano.

As figuras e o quadro que seguem mostram os seis parâmetros definidores de uma órbita Kepleriana.

SIMBOLOGIA	DENOMINAÇÃO	O QUE DEFINEM
a e	semí-eixo maior excentricidade	tamanho e forma
Ω i	longitude do nodo as- cendente inclinação	posição do plano orbi- tal no espaço
W	argumento do perigeu	orientação da elipse no plano orbital
To	época de passagem pelo perigeu	

ANOMALIA VERDADEIRA - ângulo f com vértice no foco contado a partir do perigeu no sentido do movimento do satélite.

ANOMALIA EXCÊNTRICA - ângulo E com vértice no centro da elipse, contado a partir do perigeu até S' - projeção do satélite sobre o círculo principal maior da elipse.

ANOMALIA MÉDIA (M) - correspondente a um astro imaginário dotado de velocidade angular de módulo constante.

$$M = n(t - t_0).$$

sendo: t a época considerada

$$n = \text{o movimento angular médio } n = \frac{2\pi}{p}$$

p = período

A equação de Kepler: $E - e \sin E = M$, relaciona as anomalias excêntrica e média, propiciando a primeira por iteração ou através de desenvolvimento em série.

O raio vetor e a anomalia verdadeira são obtidas com as expressões:

$$r = a(1 - e \cos E)$$

$$\cos f = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E}$$

$$\sin f = \frac{\sin E(1 - e^2)^{\frac{1}{2}}}{1 - e \cos E}$$

$$\operatorname{tg} \frac{f}{2} = \frac{1+e}{1-e} \operatorname{tg}^2 \frac{E}{2}$$

As efemérides transmitidas pelo sistema de posicionamento global (G. P. S. - NAVSTAR) consiste de coeficientes do tipo Kepleriano, que são revistos de hora em hora, porém são válidos (sem muita degradação) por 4 horas, os coeficientes são os seguintes e, a figura 4.9 mostra as elipses orbitais TRANSIT e G.P.S.

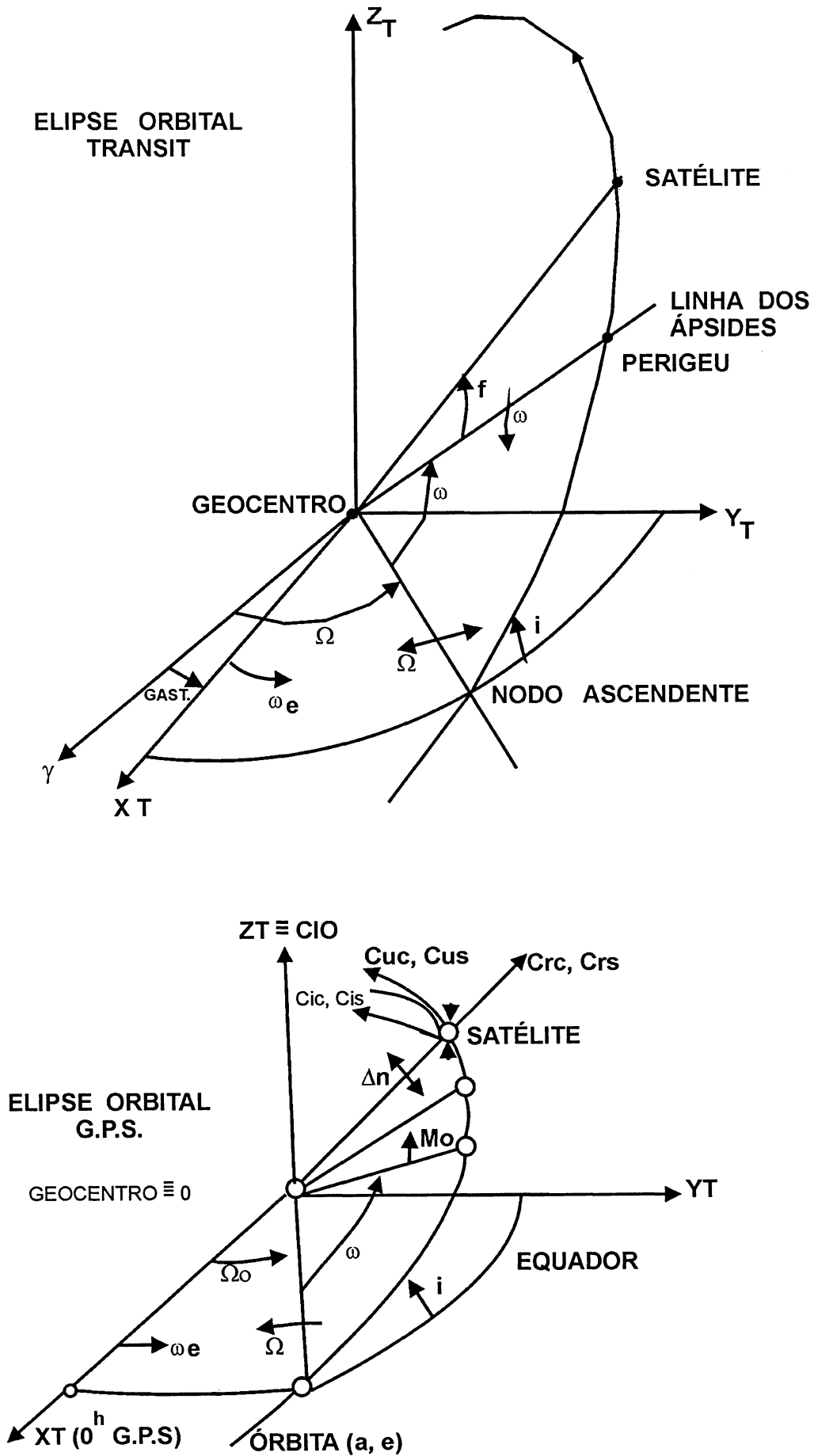


FIGURA - 4.9 - AS ELIPSES ORBITAIS TRANSIT E G.P.S.

t_0 = época de referência para as efemérides

M_0 = anomalia média para t_0

Δn = correção para o cálculo do movimento médio "no"

e = excentricidade da órbita elíptica

$\frac{1}{2}$
 a = raiz quadrada do semi-eixo maior

Ω_0 = longitude do nodo ascendente em t_0

i_0 = inclinação do plano orbital

w = argumento do perigeu

$\frac{di}{dt}$ = variação da inclinação no tempo

$\frac{d\Omega}{dt}$ = variação da longitude do nodo ascendente no tempo

C_{uc}, C_{us} - amplitude dos termos de correção para seno e coseno para o argumento da latitude (U).

C_{rc}, C_{rs} - amplitude nos termos de correção para seno e coseno para raio geocêntrico (R).

C_{ic}, C_{is} - amplitude dos termos de correção seno e coseno para a inclinação do plano orbital.

O receptor G. P. S. decodifica as efemérides transmitidas e processa o cálculo da atitude (posição ou disposições) instantânea da órbita elíptica e a posição do satélite sobre ela, para todas as épocas de observação, $t_0 + t$.

Isto é feito na determinação da:

longitude do nodo ascendente, inclinação do plano orbital (i), o argumento da latitude do satélite no plano orbital (U) e o raio geocêntrico R , como se segue:

$$n_0 = (Gm / a^3)^{\frac{1}{2}}$$

$$n = n_0 + \Delta n$$

$$M = M_0 + nt$$

$$E = M + e \operatorname{sen} E$$

$$\cos f = (\cos E - e) / (1 - e \cos E)$$

$$\operatorname{sen} f = (1 - e^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen} E / (1 - e \cos E)$$

$$\phi = f + w$$

$$U = \phi + C_{us} \operatorname{sen} (2\phi) + C_{uc} \cos (2\phi)$$

$$R = a (1 - e \cos E) + C_{rs} \operatorname{sen} (2\phi) + C_{rc} \cos (2\phi)$$

$$i = i_0 + \left(\frac{di}{dt} \right) t + C_{is} \operatorname{sen} (2\phi) + C_{ic} \cos (2\phi)$$

$$\Omega = \Omega_0 + \left(\frac{d\Omega}{dt} - w_e \right) t - w_e t_0$$

onde:

n_0 = movimento médio do satélite calculado

Gm = constante gravitacional geocêntrica

E = anomalia excêntrica

f = anomalia verdadeira

ϕ = argumento provisório (aproximado) da latitude

w_e = a velocidade angular rotacional da Terra

As coordenadas cartesianas, de uma terra fixa, do satélite em x , y e z numa época t , são obtidas através das coordenadas Keplerianas U , R , i , Ω em três estágios. Primeiramente as coordenadas cartesianas são obtidas no sistema do plano orbital: (E)

$$X_E = R \cos U$$

$$Y_E = R \sin U$$

$$Z_E = 0$$

O plano de elipse orbital (órbita elíptica) é então rotado (sofre uma rotação) em torno do X_E (através do nodo ascendente) através (pelo) ângulo de inclinação i , até Z_E coincidir com o eixo terrestre Z , resultando em:

$$X_T = X_E$$

$$Y_T = Y_E \cos i$$

$$Z_T = Y_E \sin i$$

E por último o eixo X_T (que está no plano equatorial) sofre uma rotação em torno do eixo Z de um valor Ω , até este coincidir com o eixo X terrestre (que passa através do meridiano de Greenwich). Ver figura 4.10.

$$X = X_T \cos \Omega - Y_T \sin \Omega$$

$$Y = X_T \sin \Omega + Y_T \cos \Omega$$

$$Z = Z_T$$

4.7 - O FORMATO DA MENSAGEM G. P. S.

A mensagem G. P. S. é formada em "quadros" de 1500 bits. Na razão de 50 bits por segundo, isto é, leva 30 segundos para transmitir.

Cada quadro contém 5 subquadros, e cada subquadro contém 10 palavras, com 30 bits cada. Para os subquadros de 1 a 3, as informações em geral não mudam de quadro para

quadro, entretanto, para os subquadros 4 e 5, quadros consecutivos contém diferentes páginas, Há um total de 25 páginas para cada um dos subquadros 4 e 5.

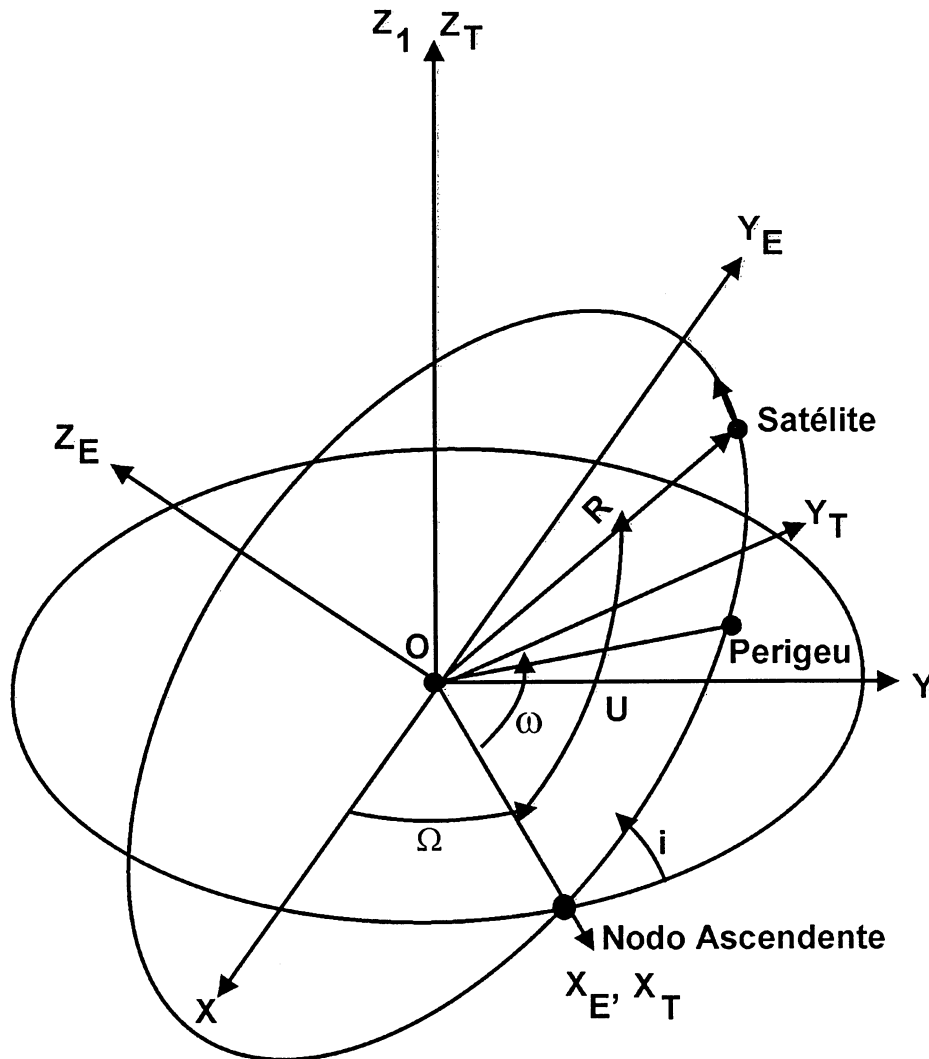


FIGURA - 4.10 - OS SISTEMAS PARA O CÁLCULO DAS COORDENADAS CARTESIANAS DE UM SATÉLITE G.P.S.

Um quadro mestre contém todas as informações contidas em todas as páginas dos subquadros 4 e 5, e consiste de 25 quadros completos. Um quadro mestre leva 12,5 minutos para ser transmitido. (ver figura 4.11).

Cada subquadro tem um particular tipo de mensagem transmitida:

O subquadro 1 - contém coeficientes correção do relógio do satélite, número da semana G. P. S., estado de saúde do satélite e a idade dos dados.

Os subquadros 2 e 3 - contém os parâmetros das efemérides transmitidas.

O subquadro 4 - tem sensíveis informações sobre somente 10 das 25 páginas. Essas páginas contam um modelo ionosférico, dados UTC, e se mais do que 24 satélites estão em órbita, os dados do almanaque e saúde (comportamento) para os satélites acima de 24.

O subquadro 5 - contém os dados do almanaque e declaração de comportamento para os primeiros 24 satélites em órbita.

Os dados do almanaque, uma grosseira descrição da órbita do satélite, é utilizado para determinar onde cada satélite na constelação está, e então adquirir sinais dos satélites que estão acima do observador porém ainda não rastreados.

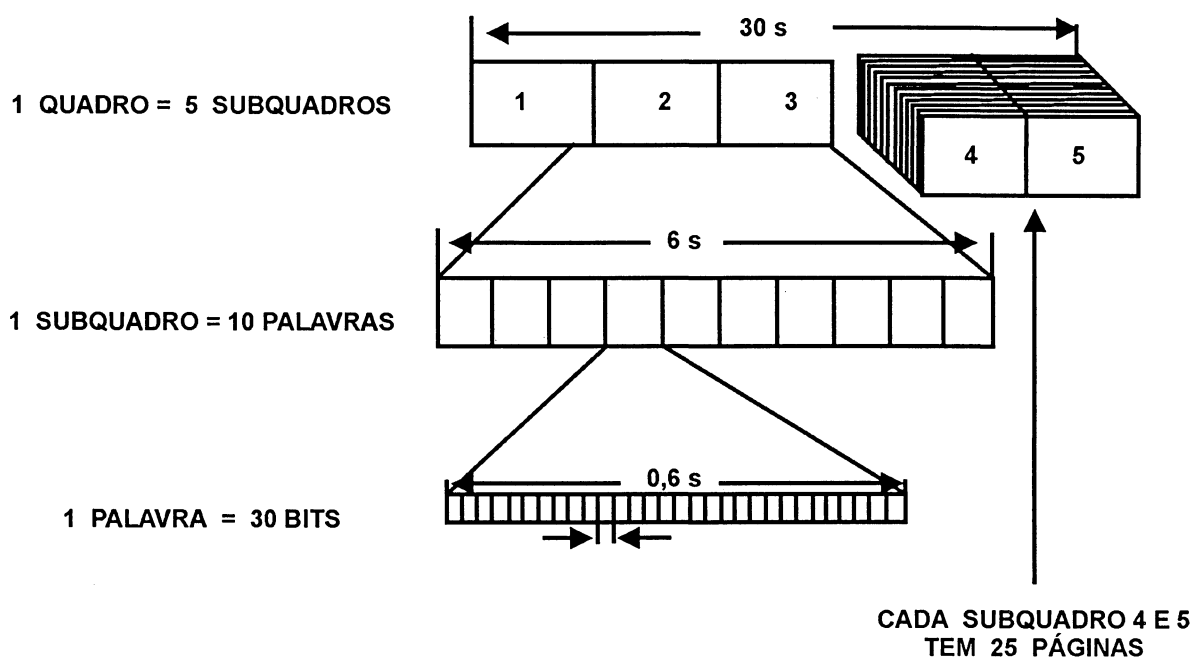


FIGURA 4.11 - O FORMATO DA MENSAGEM G.P.S.

Portanto, uma vez que um satélite está sendo rastreado, aquisições de sinais de todos os outros satélites é relativamente fácil.

No início de cada subquadro de 6 segundos, estão duas palavras especiais denominadas palavra de telemetria (telemetry word (TLM)), e palavra auxiliar (handover word (HOW)).

As palavras HOW contém assim a chamada contagem Z, e muda a cada 6 segundos. As palavras TLM muda quando sobrecarrega ou outras operações com satélites estão a caminho.

A contagem Z é um número de repetição de código desde o início da semana. (sábado/domingo meia-noite na escala de tempo do sistema G. P. S.) . A contagem Z então varia de “1” no início da semana a “403 200” justamente antes do término da semana.

Se conhecemos a contagem Z, sabemos exatamente onde, na semana do código P, tentar obter e rastrear o código P.

A palavra HOW contém um número o qual, quando multiplicado por 4, fornece a contagem Z do próximo subquadro de 6 segundos. Também contém a identificação do subquadro (1 a 5), e um aviso indicando quando um subquadro não está exatamente alinhado com o código.

A palavra TLM contém um fixo de 8 bit padronizado e sincronizado, e uma mensagem de 14 bits que contém:

- a situação dos dados atuais do satélite
- mensagens de diagnóstico
- mensagens tais como a contagem Z

Todos os componentes dos sinais que deixam o satélite são coerentemente gerados de uma mesma frequência fundamental.

$$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$$

Duas frequências portadoras são utilizadas:

L1 como $f_1 = 154 \cdot f_0 = 1575,42$ MHz, e um comprimento de onda de cerca de 20 cm. L2 como $f_2 = 120 \cdot f_0 = 1227,60$ MHz, e um comprimento de onda de cerca de 25 cm.

Três modulações de fase são impostas sobre essas portadoras: - código C/A, $C(t)$, tem uma variação de $f_0/10 = f_1/1540 = 1,023$ Mbps um comprimento de onda de cerca de 300m, um comprimento de 1023 bits, e um período de 1ms. Um diferente código C/A é designado para cada satélite G. P. S.. Somente uma versão fase defasada em 90 graus (componente quadratura) da portadora L1 é modulada pelo código C/A.

O código P., $P(t)$, tem uma taxa de variação de $f_0 = 10,23$ Mbps = $f_1/154 = f_2/120$, um comprimento de onda de cerca de 30m, um comprimento de 235.469.592.000 bits, e um período de 38 semanas (266 dias), 9 horas, 45 minutos e 55,5 segundos aproximadamente.

Um diferente segmento de uma semana do código P é designado para cada satélite G. P. S.. Ambas as portadoras L1 e L2 são moduladas pelo código P.

A seqüência de dados $D(t)$ tem uma taxa de $f_0/204600 = 50$ bps = $f_1/31508400 = f_2/24552000$. Um quadro de $D(t)$ tem um comprimento de 1500 bits, e portanto um período de 30 segundos.

Logo os diferentes tipos de modulações sobrepostas à estas portadoras podem ser traduzidas pela equação: |06|

$$SL_1(t) = A_p P_i(t) D(t) \cos(w_1 t + \phi) + A_c C(t) D_i(t) \sin(w_1 t + \phi)$$

$$SL_2(t) = B_p P_i(t) D_i(t) \cos(w_2 t + \phi)$$

Onde:

A_p = amplitude do código P

$P_i(t)$ = código P com declaração ± 1

$D_i(t)$ = seqüência de baixa frequência de dados com declaração ± 1

A_c = amplitude do código C/A

$C_i(t)$ = código C/A com declaração ± 1

$\cos(w_1t + \phi) = L1$ = sinal da portadora

O índice (i) significando pertencer os sinais do satélite (i).

As duas portadoras são moduladas em fase, com distinção entre as fases cosenoidal e senoidal, por uma função de grau. A figura 4.12 mostra a concepção da modulação em fase.

Pelas equações acima, observamos que a fase cosenoidal de ambas as portadoras é modulada pelo código P.

A fase senoidal da portadora L1 é modulada pelo código C/A.

E ambas as fases senoidal e cosenoidal nas duas portadoras são moduladas por uma frequência de baixa frequência (50bps) de dados. Trata-se de um conjunto de mensagens dividido em 3 blocos específicos e que é necessário ao usuário para a plena utilização do sistema.

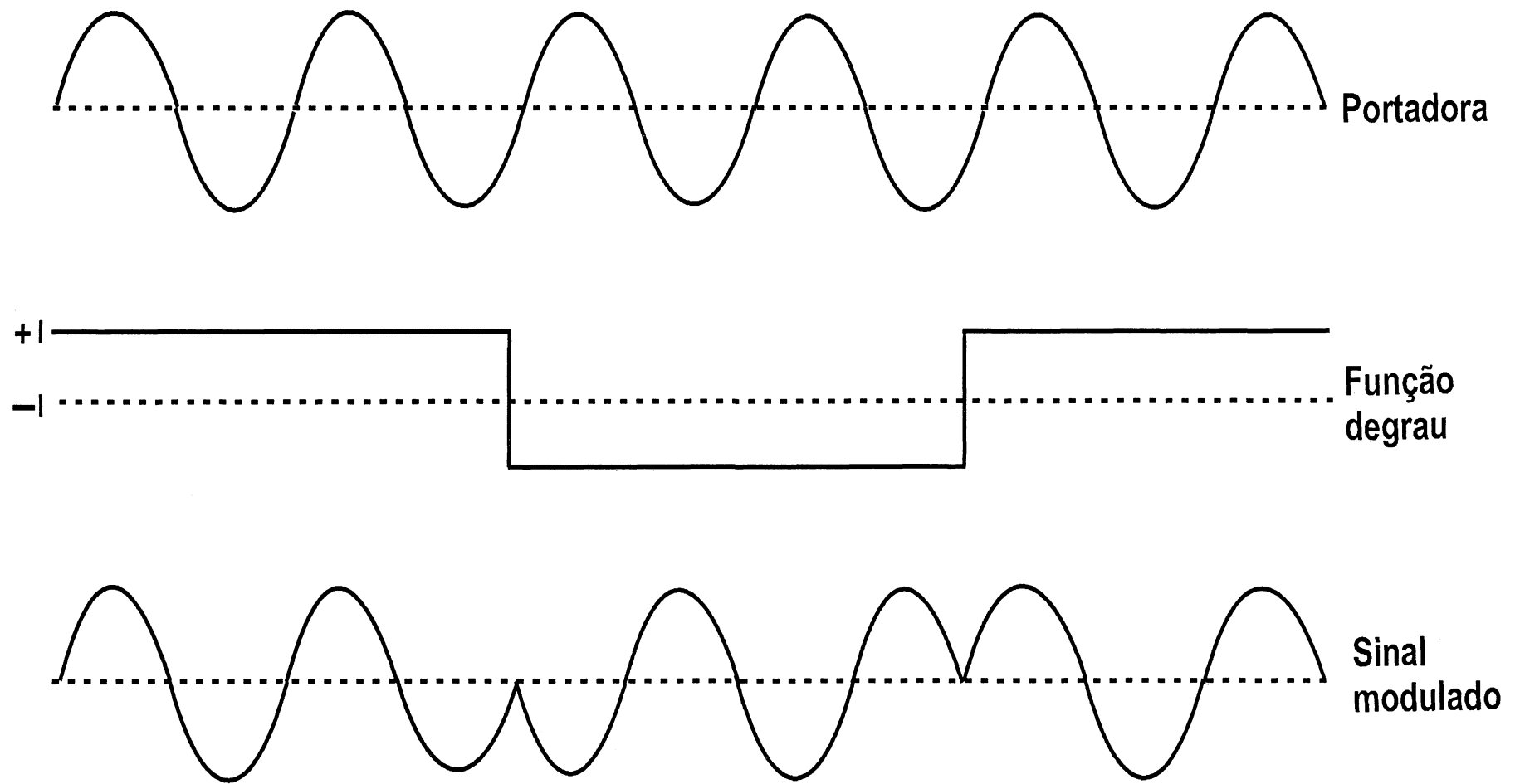


FIGURA - 4.12 A CONCEPÇÃO DA MODULAÇÃO EM FASE

A palavra auxiliar hand-over-word (HOW) é indispensável para sintonizar o código P. Este tendo um comprimento longo (sete dias) torna-se impossível a um receptor sintonizá-lo sem um conhecimento preliminar da fase que estiver sendo transmitida no momento. Isto é feito através da contagem Z que compõe o HOW e que pode ser obtido sintonizando o código C/A. A curta duração deste último (1 ms) torna imediata a sua recepção.

4.8 - METODOS DE POSICIONAMENTO COM O G. P. S.

A seguir, apresentamos alguns métodos utilizados para o posicionamento com o G. P. S., com os seus respectivos algoritmos.

4.8.1 - FASE DO CÓDIGO

O método que o sistema Navstar-G. P. S. foi concebido, denominado pseudodistância, baseia-se na medida da fase de um ou ambos os códigos transmitidos pelos satélites do sistema, medida essa realizada em unidades de tempo (segundos) decorridos desde o satélite até o receptor.

Na transformação do tempo decorrido pelos sinais em distância, é considerado que a velocidade das ondas eletromagnéticas seja igual a velocidade da luz no vácuo, como na trajetória dessas ondas existe matéria, a distância obtida deve sofrer correções da refração ionosférica e troposférica, além das correções devido ao não sincronismo dos relógios do satélite e do receptor e também da não constância da marcha dos relógios do receptor e do satélite e finalmente da diferença entre a posição real e a calculada de cada satélite.

O algoritmo utilizado é:

$$\rho = \frac{1}{2} \left((X_S - X_R)^2 + (Y_S - Y_R)^2 + (Z_S - Z_R)^2 \right)$$

- $c \Delta TS + \Delta ION + \Delta TROP +$

+ $c \cdot (b_0 + b_1 (t - t_0) + b_2 (t - t_0)^2)$, onde:

ρ - pseudo-distância observada.

X_S, Y_S, Z_S - representam as coordenadas do satélite.

X_R, Y_R, Z_R - representam as coordenadas do receptor.

c - velocidade da luz no vácuo.

ΔTS - estado do relógio do satélite, relação ao tempo G. P. S..

ΔION - refração ionosférica.

$\Delta TROP$ - refração troposférica.

b_0 - estado do relógio do receptor.

b_1 - marcha do relógio do receptor.

b_2 - variação temporal da marcha do relógio do receptor.

Ver Andrade (1989). [02]

O erro de posicionamento com esse método depende de uma série de fatores, cabendo ressaltar a configuração geométrica dos satélites rastreados, que será eliminado quando a constelação G. P. S. estiver completa (24 satélites em 6 planos orbitais).

4-8.2 - DUPLA DIFERENÇA DE FASE

Teoricamente este é o melhor modelo matemático para, posicionamento geodésico estático diferencial. O algoritmo utilizado é:

$$D\phi_{AB}^{12} = -\frac{f}{c} \left(D_B^2 - D_A^2 - D_B^1 + D_B^1 \right) + N_{AB}^{12}$$

Onde:

$D\phi_{AB}^{12}$ = observações na dupla diferença de fase.

$$D\phi_{AB}^{12} = D\phi_{AB}^2 - D\phi_{AB}^1$$

$$D\phi_{AB}^2 = D\phi_B^2 - D\phi_A^2$$

$$D\phi_{AB}^1 = D\phi_B^1 - D\phi_A^1, \text{ sendo}$$

$$D\phi_A^1, D\phi_B^1, D\phi_A^2, D\phi_B^2 \text{ as observações de simples diferença de fase, (originais),}$$

dados em ciclos e fração.

f – frequência de portadora em Hertz.

c - velocidade da luz no vácuo.

$D_A^1, D_B^1, D_A^2, D_B^2$ são as distâncias dos observadores em A e B, aos satélites 1 e 2, podendo aumentar sempre o número de satélites rastreados, escritos em função das coordenadas dos satélites (conhecidos) e das coordenadas dos observadores em A e B. As coordenadas em A são conhecidas e as coordenadas em B são as que queremos conhecer:

N_{AB}^{12} é a dupla diferença de ambigüidades e aparece como incógnita. Ver Andrade (1989).|02|

4. 8. 3 - TRIPLA DIFERENÇA DE FASE

Fazendo a diferença de duas dupla diferença de fase ao longo do tempo, temos a tripla diferença de fase que apresenta como incógnitas apenas as coordenadas de um dos pontos da base. O algoritmo utilizado é:

$$D\phi_{AB}^{12} (T2 - T1) = - \frac{f}{c} \left[D_B^2(T2) - D_A^2(T2) - D_B^1(T2) + D_A^1(T2) - D_B^2(T1) + D_A^2(T1) + D_B^1(T1) - D_A^1(T1) \right] \text{ Ver Andrade (1989).}$$

4.8.4 - POSICIONAMENTO CINEMÁTICO

No XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Andrade e Gemael apresentaram um trabalho intitulado “Método de Posicionamento Geodésico com G. P. S.”, onde alguns comentários sobre o posicionamento cinemático, é feito.

O trabalho relata que uma vez determinada as ambigüidades, com poucas observações (20 ou 30) se determinam com todo o rigor as coordenadas relativas de um ponto, desde que as ambigüidades permaneçam constantes. Os valores das ambigüidades só dependem das posições iniciais dos receptores e dos satélites. Não havendo interrupção da sintonia e a conseqüente perda de ciclos (“Cycle Slips”) os valores das ambigüidades não se alteram.

Assim, as antenas podem ser movimentadas sem alterar o valor das ambigüidades.

No método cinemático a posição de um ponto depende da posição do ponto anterior. A posição pode ser obtida pelo algoritmo da tripla diferença de fase ou dupla diferença de fase, fixando-se as ambigüidades inteiras. É necessário a sintonia contínua de pelos menos 4 satélites, mas é recomendável o rastreo contínuo de pelo menos 6. Os resultados são obtidos em tempo real quando é possível um receptor transmitir os seus dados ao outro para o processamento imediato.

CAPÍTULO 5

WGS-84 - O DATUM DO G.P.S.

5.1 - INTRODUÇÃO

O “Defense Mapping Agency” (DMA) dos Estados Unidos da América produz numerosos produtos: cartas, levantamentos gravimétricos, geodésicos, digitais, etc ... para o Departamento de Defesa dos EUA. Portanto é vantajoso que esses produtos tenham por muitas vezes como referência um único sistema de coordenada geocêntrico.

Portanto, o DMA vem aprimorando Sistemas Geodésicos Mundiais, tais como: o WGS-60, WGS-66 e WGS-72, cada um sucessivamente mais preciso do que o anterior.

Embora o WGS-72 ainda continue útil para aplicações do Departamento de Defesa; hoje algumas pequenas considerações vem negando ao WGS-72 o seu contínuo uso. Por exemplo o modelo gravitacional da terra e o geóide do WGS-72, estão hoje obsoletos.

Portanto o novo sistema WGS-84 surge para substituir o WGS-72, devido a novos e maiores conjuntos de dados oriundos de rastreios de satélites a laser e alturas geodais deduzidas do satélite de altimetria radar, que estão disponíveis para regiões oceânicas entre 70° Norte e Sul de latitude (aproximadamente).

5.2 - MUDANÇA DO SISTEMA DE COORDENADAS NSWC 9Z-2 PARA WGS-84

O sistema de coordenadas WGS-84 é um sistema terrestre convencional, idealizado através de modificações no Quadro de Referência Doppler do Navy Navigation Satellite System (NSWC 9Z-2) na origem, na escala e rotando seu meridiano de referência a fim de coincidir com o meridiano zero definido pelo Bureau International de l’Heure (BIH).

As quantidades utilizadas para modificar o sistema de coordenadas NSWC 9Z-2 são:

- a) rebaixando sua origem de 4,5 metros;
- b) rotando seu eixo X, que coincide com o meridiano zero, no sentido oeste de 0,814 segundos de arco;
- c) mudando sua escala para $- 0,6 \times 10^{-6}$

O sistema de coordenadas NSW 9Z-2, modificado da maneira assim descrita, torna-se o sistema de coordenadas WGS-84.

As modificações na origem e na longitude estão ilustradas na figura 5.1, respectivamente como as diferenças entre os sistemas NSW 9Z-2 e o WGS-84.

O uso dessas modificações com as fórmulas de transformações de Datum Abreviadas de Molodensky, mostradas abaixo, modificam as coordenadas do sistema NSW 9Z-2 para WGS-84.

- a) fórmulas para a transformação de coordenadas no NSW 9Z-2 para WGS-84:

$$\Delta\phi'' = (4,5 \cos \phi) / (a \text{ sen } 1'') + (\Delta f \text{ sen } 2\phi) / (\text{sen } 1'')$$

$$\Delta\lambda'' = 0,814$$

$$\Delta Hm = 4,5 \text{ sen} \phi + a \cdot \Delta f \text{ sen}^2 \phi - \Delta a + \Delta r$$

- b) parâmetros de transformação:

$$\Delta f = - 0,8120450 \times 10^{-7}$$

$$a = 6378145m$$

$$\Delta a = - 8,0m$$

$$\Delta r = - 3,8m$$

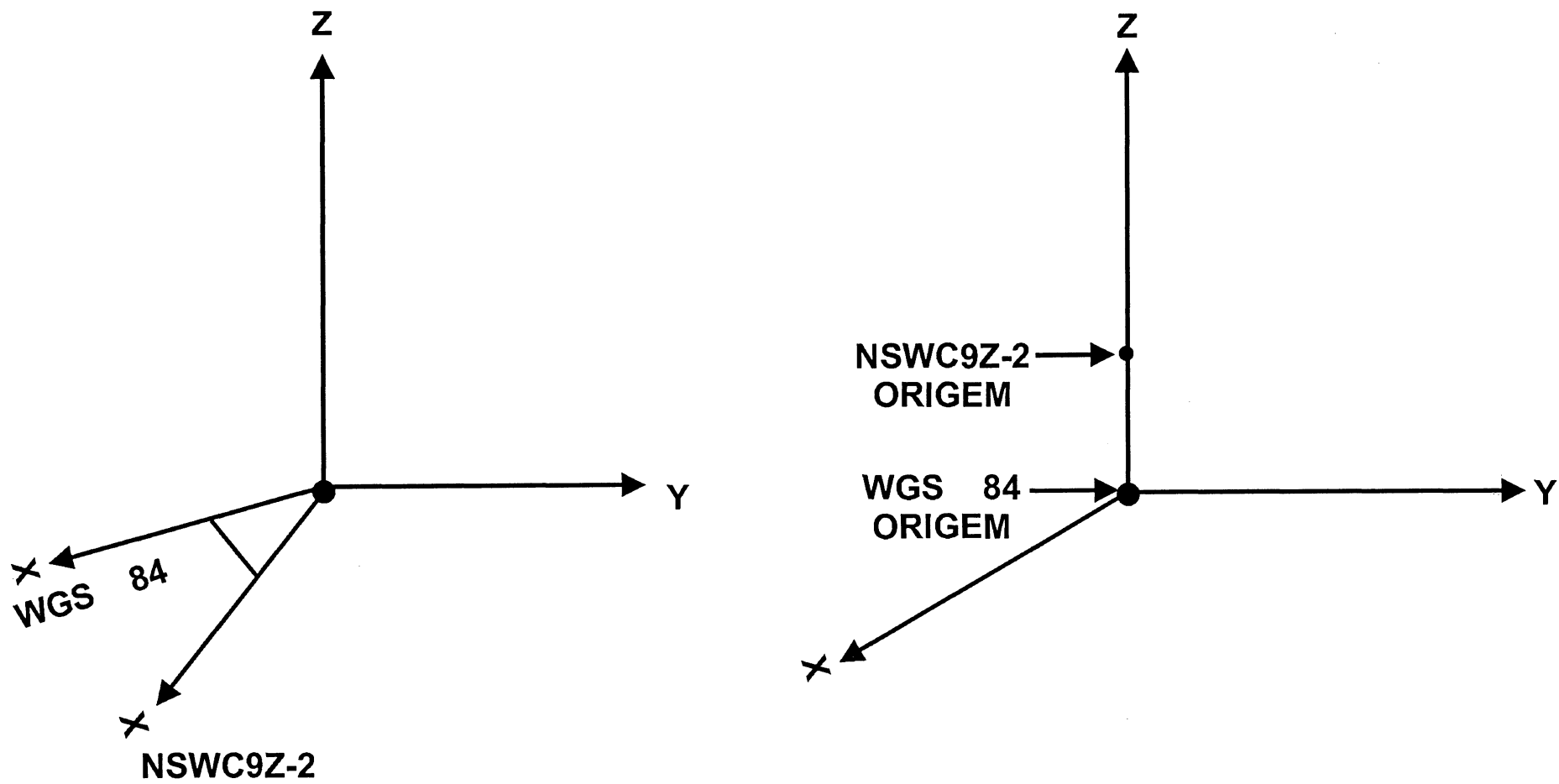


FIGURA - 5.1 - AS DIFERENÇAS ENTRE OS SISTEMAS NSWC 9Z-2 E WGS - 84

5.3 - AS DEFINIÇÕES DO SISTEMA DE COORDENADAS WGS-84

A sua origem é o centro de massa da terra.

O seu eixo Z é paralelo ao plano que contém o pólo terrestre convencional para o movimento do pólo, como definido pelo Bureau International de L'Heure (BIH), sobre as bases das coordenadas adotadas para as estações do BIH. O seu eixo X é a interseção do Plano do Meridiano de Referência WSG-84 com o Plano do Equador do Pólo Convencional Terrestre.

O Meridiano de Referência sendo paralelo ao Meridiano Zero definido pelo BIH sobre as bases das coordenadas adotadas para as estações do BIH.

O seu eixo Y completa a regra da mão direita, com a terra centrada, terra fixa sistema de coordenadas ortogonal, medida no plano do equador do pólo convencional terrestre a 90° a leste do eixo X, conforme figura 5.2.

5.4 - OS PARÂMETROS DEFINIDORES DO WGS-84

Um dos quatro parâmetros definidores do WGS-84 é o seu semi-eixo maior que tem para valor:

$$a = 6378137 \pm 2 \text{ metros.}$$

Esse valor de a é baseado sobre o tempo estimado entre 1976-1979, determinado, utilizando técnicas e dados de laser, Doppler, altimetria radar, laser mais altimetria radar e Doppler mais altimetria radar.

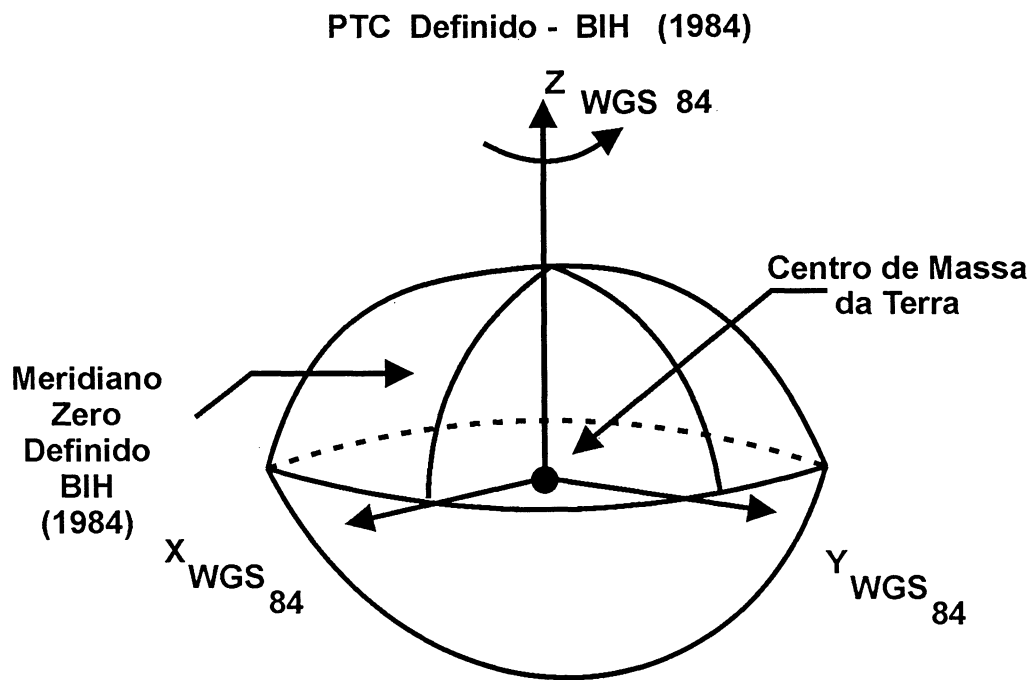


FIGURA - 5.2 - O SISTEMA DE COORDENADAS WGS-84

O segundo parâmetro definidor do WGS-84 é a constante gravitacional terrestre GM que tem para valor:

$$GM = (3986005 \pm 0,6) \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

Esse valor inclui a massa de atmosfera e baseado em vários tipos de medidas espaciais.

Para algumas aplicações necessita-se conhecer o valor da constante gravitacional terrestre excluindo a massa da atmosfera terrestre, para isso foi calculado o valor de:

$GM' = (3986001,5 \pm 0,6) \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$. Utilizando valores de “G” recomendado pelo International Association of Geodesy (IAG) e o mais recente valor de M, publicado no “Fundamental Geodetic Constants” de H. Moritz (1975).|14|

O terceiro parâmetro definidor do WGS-84 é o coeficiente gravitacional zonal de grau dois normalizado $\left(\begin{matrix} - \\ C \\ 2.0 \end{matrix} \right)$, que tem para valor: $\begin{matrix} - \\ C \\ 2.0 \end{matrix} = (- 484,16685 \pm 0,00130) \times 10^{-6}$. O valor do coeficiente acima foi obtido através do valor adotado para $J_2 = 108263 \times 10^{-8}$ e utilizando a relação matemática de:

$$\begin{matrix} - \\ C \\ 2.0 \end{matrix} = -J_2 / (5)^{\frac{1}{2}}$$

O quarto e último parâmetro definidor do WGS-84 é a velocidade angular da Terra (W) que tem para seu valor:

$$W = 7292115 \pm 0,1500 \times 10^{-11} \text{ radianos/segundo.}$$

5.5 - AS CONSTANTES FÍSICAS E GEOMÉTRICAS DO ELIPSÓIDE WGS-84.

Alguns parâmetros associados com o Elipsóide WGS-84 além dos 4 parâmetros definidores, são necessários para aplicações geodésicas e gravimétricas. Utilizando os 4 parâmetros definidores, é possível calcular essas constantes associadas ao Elipsóide. As

mais comuns constantes, geométricas e físicas associadas com o Elipsóide WGS-84 estão listadas nas tabelas 5.1 e 5.2, respectivamente.

Duas outras importantes constantes fazem parte da definição do WGS-84. Essas constantes são a velocidade da luz (c) e a elipcidade dinâmica (H).

O atual valor aceito para a velocidade da luz no vácuo é:

$$c = (299792458 \pm 1,2) \text{ ms}^{-1}. [14]$$

Esse valor é oficialmente reconhecido pelo IAG e pelo IAU e está sendo usado para o uso com o WGS-84.

A elipcidade dinâmica H , é necessária para a determinação dos principais momentos da inércia terrestre A , B e C .

Na literatura H é referida como: elipcidade dinâmica, elipcidade mecânica ou constante precessional. Num recente trabalho do IAG sobre constantes geodésicas fundamentais ("Fundamental Geodetic Constants" de R.H. Rapp - August 1983), o seguinte valor para a recíproca de H foi dado na discussão de momentos de inércia:

$$\frac{1}{H} = 305,4413 \pm 0,0005$$

TABELA 5.1

CONSTANTES GEOMÉTRICAS WGS-84 |14|

CONSTANTE	NOTAÇÃO	VALOR
Achatamento	f	1/298,257223563 (0,00335281066474)
Semi-Eixo menor	b	6356752,3142m
1ª excentricidade	e	0,0818191908426
1ª excentricidade ao quadrado	e ²	0,00669437999013
2ª excentricidade	e'	0,0820944379496
2ª excentricidade ao quadrado	e' ²	0,00673949674227
Excentricidade linear	E	521854,0084m
Raio polar de curvatura	C	6399593,6258m
Razão eixos	b/a	0,996647189335
Raio médios dos semi-eixos	R ₁	6371008,7714m
Raio da esfera com área igual	R ₂	6371007,1809m
Raio da esfera volume igual	R ₃	6371000,7900m

TABELA 5.2

CONSTANTES FÍSICAS WGS-84 |14|

CONSTANTE	NOTAÇÃO	VALOR
Gravidade teórica (normal) do elipsóide	γ_0	62636860,8497 m ² s ⁻²
Gravidade normal do elipsóide nos equador	γ_e	9,7803267714 m s ⁻²
Gravidade normal do elipsóide nos polos	γ_p	9,8321863685 m s ⁻²
Valor médio da gravidade normal	$\bar{\gamma}$	9,7976446561 m s ⁻²
Constante da fórmula da gravidade normal	k	0,00193185138639
Massa da terra (incluindo a atmosfera)	M	5,9733328 x 10 ²⁴ kg
$m = w^2 a^2 b / GM$	m	0,00344978600313

5.6 - O GEÓIDE NO WGS-84

Nas aplicações geodésicas, três diferentes superfícies ou figuras terrestres estão normalmente envolvidas. Em adição a superfície natural ou física da terra, aqui inclui a figura geométrica ou matemática da terra sendo um elipsóide equipotencial de revolução, e uma segunda superfície equipotencial ou figura da terra, o geóide. O geóide é definido como uma superfície equipotencial particular da terra que coincide como nível médio do mar sobre os oceanos e estende-se hipoteticamente sobre toda a superfície continental.

A definição do geóide tem uma grande importância prática, desde que, se refere a sua hipotética extensão do nível do mar através das superfícies continentais. Nessa sua capacidade, o geóide serve não somente como um datum vertical (superfície de referência) para alturas acima do nível médio do mar (h) em áreas onde dados de elevação não são disponíveis de levantamentos convencionais, porém é fundamental para a determinação dos próprios valores de h . Nota-se pela equação:

$$H = N + h$$

$$h = H - N$$

Onde:

H = altura geodésica = altura acima do elipsóide (altitude geométrica).

N = altura geoidal

h = altura acima do nível médio do mar (altitude ortométrica).

Obs: o efeito da não colinearidade na direção entre a normal geodésica e a vertical é aqui ignorada por sua insignificância.

As operações acima, ilustram o uso de alturas geoidais na determinação de valores de h , das alturas geodésicas derivadas utilizando receptores satélites localizados sobre a superfície terrestre ou a bordo de navios hidroceanográficos.

As alturas geodais do WGS-84 são calculadas utilizando a expansão dos harmônicos esféricos e os coeficientes do modelo gravitacional da terra do WGS-84 através de $n = m = 180$. A fórmula para calcular a altura geoidal WGS-84, é a seguinte:

$$N = \frac{GM}{r\gamma} \left[\sum_{n=2}^n \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^n (\bar{c}_{n,m} \cos m\lambda + \bar{s}_{n,m} \sin m\lambda) \bar{P}_{n,m}(\sin \phi^1) \right]$$

N – altura do geóide

onde:

γ - gravidade teórica calculada utilizando as fórmulas do Modelo Gravitacional da Terra no Elipsóide WGS-84.

GM – Constante gravitacional

r - raio vetor do centro de massa da Terra

a – semi-eixo maior do Elipsóide WGS-84

$\bar{c}_{n,m}, \bar{s}_{n,m}$ - Coeficientes gravitacionais normalizados.

λ - longitude geocêntrica = longitude geodésica

ϕ^1 - latitude geocêntrica

n,m – grau e ordem, respectivamente

$\bar{P}_{n,m}(\sin \phi^1)$ - função de Legendre associada normalizada.

As alturas geodais do WGS-84 são conhecidas com a exatidão de ± 2 a ± 3 metros sobre aproximadamente 55% da terra. Aproximadamente 93% da terra tem altura geoidal do WGS-84 com exatidão melhor do que ± 4 metros.

As alturas geodais do WGS-84, acima de $n = m = 18$, são consideradas confidenciais pelo D.M.A. [14].

5.7 - AS RELAÇÕES ENTRE O WGS-84 COM OUTROS SISTEMAS GEODÉSICOS

Um dos principais objetivos de um sistema geodésico mundial é prover meios onde sistemas geodésicos locais podem ser referidos para um único sistema geocêntrico. O número atual de sistemas geodésicos locais ultrapassa a várias centenas. Estações Doppler posicionadas dentro do WGS-84, e com as conhecidas coordenadas no sistema geodésico local, formam o ingrediente básico no desenvolvimento de mudanças de datum do sistema geodésico local para o WGS-84. Um total de 1591 de Estações Doppler estão disponíveis para tais propósitos.

A mais exata abordagem para obter coordenadas WGS-84 é adquirir dados de rastreamento de satélite para um local de interesse e posição, diretamente em WGS-84, utilizando a técnica de Posicionamento de Ponto por Satélite. Entretanto, está fora da realidade presumir que o uso de tal técnica será sempre possível. Em tais casos, a transformação de WGS-72 para WGS-84 ou sistema geodésicos locais para WGS-84 deverá ser feita.

Por exemplo em situações onde temos somente coordenadas WGS-72, as fórmulas abaixo devem ser utilizadas: [14]

$$\phi_{\text{WGS-84}} = \phi_{\text{WGS-72}} + \Delta\phi$$

$$\lambda_{\text{WGS-84}} = \lambda_{\text{WGS-72}} + \Delta\lambda$$

$$H_{\text{WGS-84}} = H_{\text{WGS-72}} + \Delta H$$

$$\text{onde: } \Delta\phi'' = (4,5 \cos \phi) / (a \sin 1'') + (\Delta f \sin 2\phi) / (\sin 1'')$$

$$\Delta\lambda'' = 0,554$$

$$\Delta H_m = 4,5 \sin \phi + a \Delta f \sin^2 \phi - \Delta a + \Delta r$$

$$\text{onde: } \Delta f = 0,3121057 \times 10^{-7}$$

$$a = 6378135\text{m}$$

$$\Delta a = 2,0\text{m}$$

$$\Delta r = 1,4\text{m}$$

As coordenadas WGS-84 diferirão das coordenadas WGS-72 devido as mudanças na origem dos sistemas de coordenadas, a mudança na referência em longitude, uma mudança em escala (tratada através de Δr), e mudanças no tamanho e forma do elipsóide. Quando as coordenadas WGS-72 são derivadas Doppler, procedendo desta maneira, as recentes coordenadas WGS-84 deverão concordar aproximadamente em ± 2 metros com as coordenadas WGS-84, obtidas diretamente do posicionamento por ponto satélite. [14]

Hoje a maior parte das coordenadas em WGS-84 podem ser obtidas da transformação de Datum de um sistema geodésico local para o WGS-84.

Essa transformação pode ser obtida através das coordenadas geodésicas.

$$\phi \text{ WGS-84} = \phi \text{ Local} + \Delta\phi$$

$$\lambda \text{ WGS-84} = \lambda \text{ Local} + \Delta\lambda$$

$$H \text{ WGS-84} = H \text{ Local} + \Delta H$$

ou através das coordenadas retangulares:

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \\ \text{WGS-84} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \\ \text{LOCAL} \end{matrix} + \begin{matrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta Y \\ \Delta z \end{bmatrix} \\ \end{matrix} + \begin{matrix} \begin{bmatrix} \Delta s & \omega & -\Psi \\ -\omega & \Delta S & \varepsilon \\ \psi & -\varepsilon & \Delta S \end{bmatrix} \\ \end{matrix} \begin{matrix} \begin{bmatrix} x - X_0 \\ Y - Y_0 \\ z - Z_0 \end{bmatrix} \\ \text{LOCAL} \end{matrix}$$

onde ΔS e $(\varepsilon, \psi, \varpi)$ representam mudanças na escala do sistema geodésico local e mudança na orientação do quadro de referência, respectivamente, e (X_0, Y_0, Z_0) são as coordenadas do ponto inicial do sistema geodésico local.

Existem várias fórmulas de transformação de datum, sendo a mais comum para ambos os casos, geodésicos e retangular, as fórmulas completas ou abreviadas de Molodensky.

a) fórmula completa de Molodensky

$$\Delta\phi = \{ \bar{\Delta} X \text{ sen}\phi \text{ cos}\lambda - \Delta Y \text{ sen}\phi \text{ sen}\lambda + \Delta Z \text{ cos}\phi +$$

$$\Delta a \left(\frac{RN e^2 \sin\phi \cos\phi}{a} + \Delta f \left[\frac{RM}{a} + \frac{RN}{b} \right] \cdot \sin\phi \cos\phi \right) \cdot [(RM + H) \sin 1'']^{-1}$$

$$\Delta \lambda'' = [- \Delta X \sin\lambda + \Delta Y \cos\lambda] \cdot [(RN + H) \cos\phi \sin 1'']^{-1}$$

$$\Delta H_m = \Delta X \cos\phi \cos\lambda + \Delta Y \cos\phi \sin\lambda + \Delta Z \sin\phi - \Delta a \left(\frac{a}{RN} \right) + \Delta f \left(\frac{b}{a} \right) RN \sin^2\phi$$

b) fórmula abreviada de Molodensky

$$\Delta \phi'' = [- \Delta X \sin\phi \cos\lambda - \Delta Y \sin\phi \sin\lambda + \Delta Z \cos\phi + (a\Delta f + f\Delta a) \sin 2\phi] \cdot [RM \sin 1'']^{-1}$$

$$\Delta \lambda'' = [- \Delta X \sin\lambda + \Delta Y / \cos\lambda] \cdot [RN \cos\phi \sin 1'']^{-1}$$

$$\Delta H_m = \Delta X \cos\phi \cos\lambda + \Delta Y \cos\phi \sin\lambda + \Delta Z \sin\phi + (a\Delta f + f\Delta a) \sin^2\phi - \Delta a$$

onde: ϕ, λ, H – coordenadas geodésicas no elipsóide local.

$\Delta\phi, \Delta\lambda$ e ΔH – correção para transformar as coordenadas do sistema local para coordenadas WGS-84. As unidades de $\Delta\phi, \Delta\lambda$ são em segundos de arco e ΔH em metros.

$\Delta X, \Delta Y$ e ΔZ = variações entre os centros dos Elipsóides sistema geodésico local e WGS-84, correções para transformar as coordenadas retangulares do sistema geodésico local em coordenadas retangulares do WGS-84.

a - semi-eixo do elipsóide do sistema geodésico local.

b - semi-eixo menor do elipsóide do sistema geodésico local.

$$b/a = 1 - f$$

f = achatamento de elipsóide do sistema geodésico local.

$\Delta a, \Delta f$ = diferenças entre o semi-eixo maior e achatamento do elipsóide do sistema geodésico local e do elipsóide do WGS-84, respectivamente (WGS-84 menos o local).

e - primeira excentricidade

$$e^2 = 2f - f^2$$

RN - raio de curvatura do primeiro vertical

$$RN = a / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}}$$

RM raio de curvatura da meridiana

$$RM = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}}$$

Todas as quantidades " Δ " são formadas da subtração dos valores do elipsóide do sistema geodésico local. dos valores do elipsóide WGS-84.

Os valores são dados nas tabelas abaixo:|14|

TABELA 5.3
CONSTANTES DOS ELIPSÓIDES DE REFERÊNCIA

ELIPSÓIDE DE REFERÊNCIA	a (METROS)	f
INTERNACIONAL	6378388	1/297
SAD - 69	6378160	1/298,25
WGS - 72	6378135	1/298,26
WGS - 84	6378137	1/298,257223563

TABELA 5.4
PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL
PARA O WGS-84

SISTEM GEODÉSI- CO LOCAL	ELIPSÓIDE REFERÊNCIA E DIFERENÇAS ENTRE PA- RÂMETROS			NÚMERO DE ESTAÇÕES DOPPLER UTILIZADAS PARA DETERMINAR OS PARÂME- TROS DE TRANSFOR- MAÇÕES	PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO		
	NOME	Δa (m)	$\Delta f \times 10^4$		ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
CÓRRE- GO ALEGRE	INTERNA- CIONAL	-251	-0,14192 702	17	-206	172	-6
SAD-69	SAD-69	-23	-0,000 81204	84	-57	1	-41

5.8 - CONCLUSÃO

O Sistema Geodésico Mundial (WGS-84) é o estado-da-arte de um sistema baseado em uso de dados, técnicas e tecnologia disponíveis no início do ano de 1984. Como resultado, o WGS-84 é mais exato do que o WGS-72 e substituirá este último como um sistema geodésico autorizado oficialmente para uso do DOD.

A origem e a orientação do quadro de referência WGS-84 está mais exatamente definido do que o foi para o WGS-72. E além do mais, as transformações de datum de um sistema geodésico local para o WGS-84 são mais exatas do que os mesmos valores existentes no WGS-72, e são em maiores números - 83 sistemas para WGS84 para 27 sistemas geodésicos locais para WGS-72. O valor do WGS-84 se tornará evidentemente grande no início da década de 90, quando o NAVSTAR G. P. S. se tornará completamente operacional.

CAPÍTULO 6

SUGESTÃO E CONCLUSÃO

6.1 - UMA SUGESTÃO BRASILEIRA

Cabe ressaltar aqui o trabalho dos professores Paulo Mourilhe Silva e Ivan Mourilhe Silva - "Projeto de um Sistema Experimental para a Disseminação de Tempo e Frequência através do Satélite Geoestacionário Brasileiro" - monografia para o Ministério das Comunicações, fevereiro, 1976. Onde justificam como objetivo final, a possibilidade de fazer chegar aos mais variados tipos de usuários possíveis, hora certa, sinais horários, frequência padrão, e códigos para sincronização de sistemas utilizando o satélite geoestacionário brasileiro. E dentro das possíveis utilizações colocam os levantamentos cartográficos, geodésicos, astronômicos e o posicionamento dos navios da Marinha do Brasil, etc ...

Sendo o satélite geoestacionário, os professores propõem um sistema pelo qual será transmitida para o satélite uma frequência F_1 contendo as modulações necessárias às diversas informações que desejarem ser retransmitidas; o satélite então retransmitirá uma frequência F_2 com todas as informações.

O sistema de disseminação de tempo e frequência, utilizando o satélite brasileiro, consistirá então de um grupo de sinais horários de baixa exatidão, média exatidão e alta exatidão, visando atender o maior número possível de usuários.

Os sinais de baixa exatidão, destinar-se-iam ao público em geral, as estações de rádio, televisão, aos radioamadores, as companhias de aviação, as indústrias.

Tais sinais seriam difundidos com erro máximo de 1ms.

Os sinais horários de média exatidão, teriam como principais usuários os estudos, de geodésia e quaisquer outros que necessitam do tempo com erros menores que 1ms e maiores que 30 us.

Os sinais horários de alta exatidão seriam utilizados por outros laboratórios de tempo e frequência, estação de rastreamento de satélites, fotográficos ou a laser, estação de lançamento de satélites e/ou foguetes.

Podendo também ser utilizado estes sinais para um sistema de navegação por satélite, desde que existam outros satélites (3 no mínimo) participando.

Mais detalhes podemos encontrar em [11] e [12].

Em outro trabalho do Prof. Paulo Mourilhe Silva. "A Disseminação de tempo e Frequência no Brasil" - em comemoração ao 159º aniversário do Observatório Nacional o autor destaca que "Embora sendo de vital importância para uma série de atividades e aplicações, os trabalhos que se realizam em tempo e frequência não são de todo conhecidos e devidamente avaliados".

Atividades como geração e distribuição de energia elétrica, meios de comunicação e de transporte, sistemas de navegação marítima e aérea, estação de rádio e TV, utilidades públicas, indústrias, laboratórios e observatórios são genericamente um exemplo resumido de uma vasta gama de usuários que dependem muitas vezes sem perceber, da existência de uma referência permanente disponível e confiável, de hora certa (tempo) e frequência".

6.2 - OS TRABALHOS NA DHN

Em recente reunião do Conselho Técnico da DHN, em dezembro de 1988, foi levantado o assunto "Política de Levantamentos Hidrográficos (Plano Cartográfico)", onde foi mostrado que é ínfima a percentagem de áreas adequadamente levantadas de acordo com especificações internacionais consubstanciadas na publicação da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) Publicação Especial nº 44 onde a OHI estabelece critérios, procedimentos e especificações mínimas a serem adotadas na realização de levantamentos hidrográficos, na classificação de dados batimétricos e na eliminação de dados duvidosos - A DHN também terá que enfrentar "desafios que

já se aproximam: o apoio às operações navais, as necessidades geradas pela Marinha Mercante dotada de navios maiores, de maior calado e maior velocidade, a delimitação da margem continental, a expansão dos interesses marítimos brasileiros para o leste e o sul atlântico e a mineração submarina em alto mar".

Portanto, a DHN caminha obrigatoriamente para a aquisição automática de dados no mar, para a cartografia apoiada por computador, e seus navios hidroceano-gráficos contarão com posicionadores de alta precisão, sendo que um deles agora em fase de recebimento (já adquirido). O receptor G. P. S. TRIMBLE 4000SL que apresenta as características de correlação do código $L_1/C/A$, com cinco canais de aquisição independentes, sincronizados entre si, dentro de um intervalo de 1 milissegundo, memória em estado-sólido para armazenamento dos dados das observações, um microprocessador de 16 bits e um "software": o TRIMVEC, que permite o pós-processamento dos dados recebidos dos satélites G. P. S..

Pode-se trabalhar, usando dados de três (3) satélites, um vantajoso modo de aumentar, hoje, a janela de rastreamento dos satélites G. P. S..

O sistema G. P. S.-TRIMBLE 4000SL pode ser operado em dois modos:

- a) modo posicionamento - utiliza as medidas "pseudodistâncias" e contagem Doppler integrada para fornecer posições isoladas a cada segundo. Além de determinar a posição do receptor, poderá também determinar a velocidade da "plataforma", esta se deslocando numa velocidade de até 900Km/h. (aproximadamente).
- b) o modo levantamento - é um modo diferencial, estático, que usa medidas da fase da portadora L_1

Os resultados finais, também incluem uma variedade de dados estatísticos, como: matriz de co-variância, matriz de correlação, análise do erro, dados RMS e o número de pontos aceitos/rejeitados e os satélites com problemas.

Na DHN a primeira e ainda única experiência prática com o G. P. S. foi realizada pelo Navio-Hidrográfico “Sirius” em 21 de fevereiro de 1987, nas proximidades do Cabo de São Tomé, RJ., área da carta 1500, utilizando um receptor de ‘Magnavox 1107’ - TRANSIT, adaptado para receber também os sinais do sistema G. P. S..

Já na primeira experiência, a tripulação do NHi “SIRIUS” sente as vantagens da utilização do G. P. S. como um sistema de posicionamento, comparando-o com os sistemas utilizados e já bastantes conhecidos pelo pessoal da DHN:

O Raydist e o Mini-Ranger.

Foram instaladas estações fixas dos sistemas Raydist e Mini-Ranger nos faróis de Macaé e de São Tomé, e no navio (estação-móvel) foram instaladas as antenas receptores Raydist - Mini-Ranger e G. P. S..

Conforme observamos na figura 6.1 as disposições das antenas no navio, e na figura 6.2, as estações e o navio formando figuras geométricas conforme o deslocamento do navio.

Essa primeira experiência não foi bem sucedida em termos de avaliação concreta.

6.3 - PALAVRAS FINAIS

O G. P. S. revolucionará, temporariamente, a comunidade cartográfica e todos os usuários que dependem muitas vezes sem perceber, de hora certa e frequência; como diz o prof. Mourilhe. |12|

TESTES SISTEMA G.P.S.

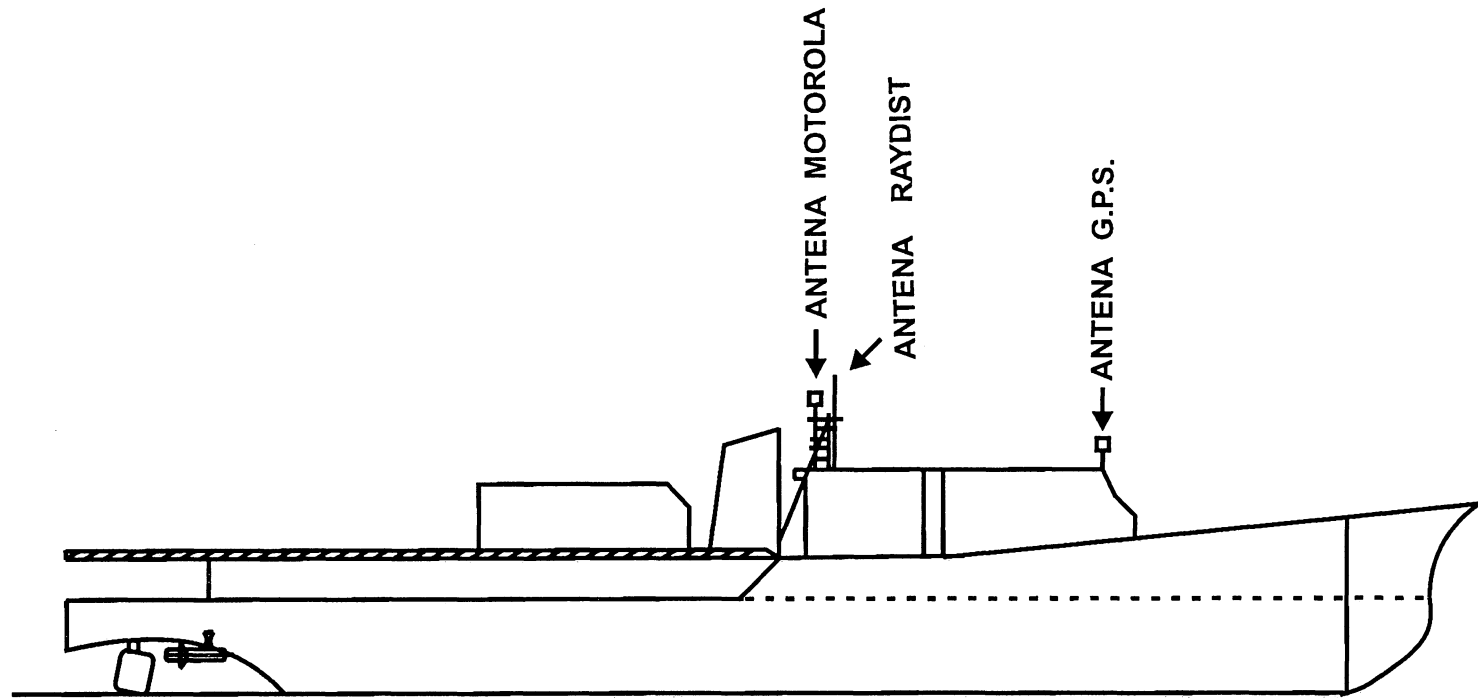


FIGURA - 6.1 - AS LOCALIZAÇÕES DAS ANTENAS RECEPTORAS NO NHi "SIRIUS"

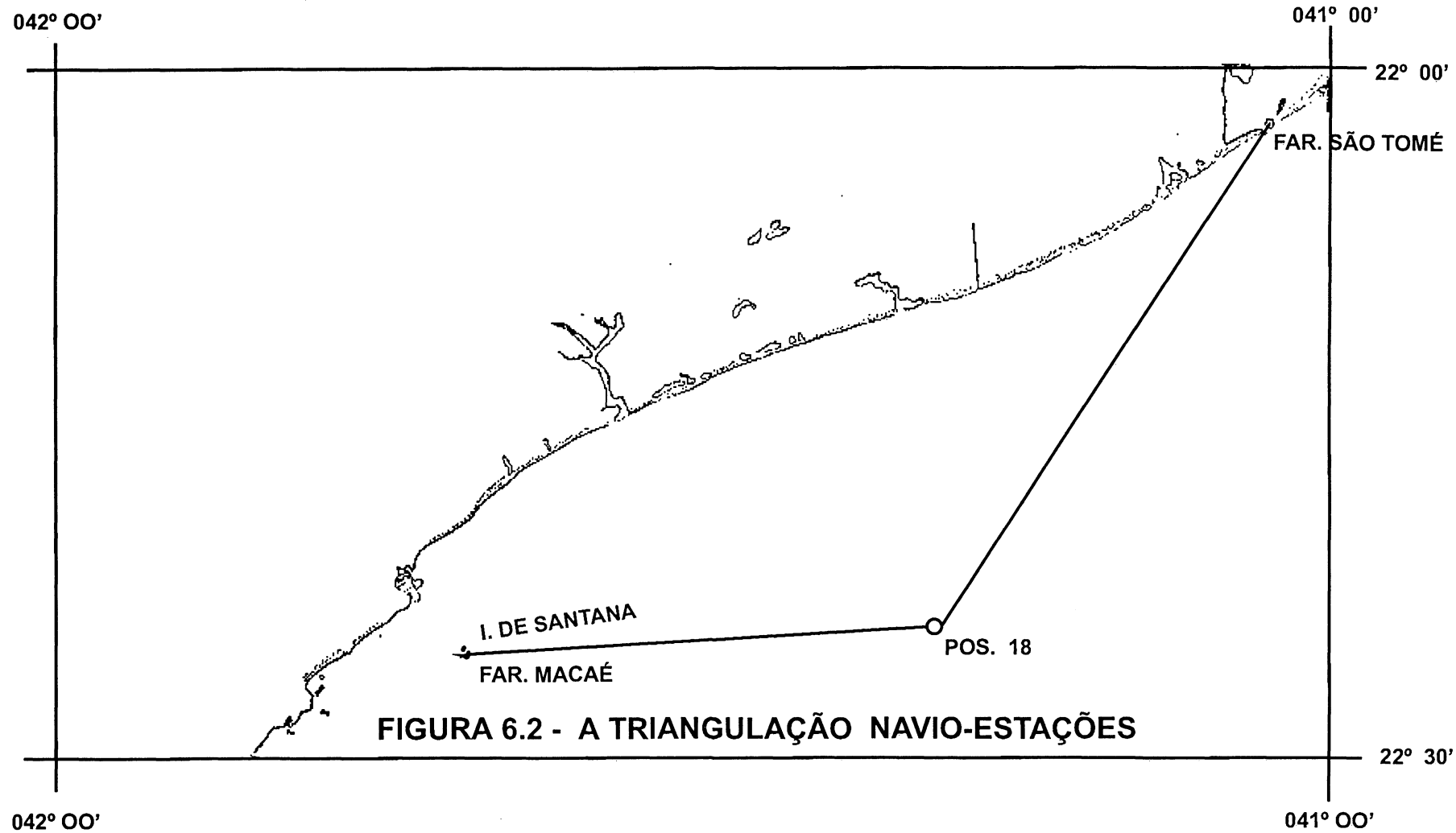


FIGURA 6.2 - A TRIANGULAÇÃO NAVIO-ESTAÇÕES

Mas cabe a nós, brasileiros, criarmos uma situação, para que não venhamos a depender de uma tecnologia, que amanhã, nos poderá deixar de ser facultada o seu uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 – ANDRADE, J.B. NAVSTAR-G. P. S.. Curitiba, UFPR, 1988. 63p.
- 02 – ANDRADE, J.B. & GEMAEL, C. Métodos de Posicionamento Geodésico com G. P. S. XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado, RS, Anais VOL. 1: 195-199, 1989.
- 03 – BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. A Cartografia Náutica Brasileira. Situação Atual. Rio de Janeiro, 1985.
- 04 – BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Histórico – Atividades – Perspectivas. Rio de Janeiro, 1987. 48 fls.
- 05 – CAMPOS, M. A Controle da Rede Geodésica Brasileira por meio de Satélites do Sistema NNSS. Curitiba, 1987. 118 fls. Tese, Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná.
- 06 – FELL, P.J. Geodetic Positioning Using a Global Positioning System of Satellites, 1980. Tese de Doutorado. Geodetic Department. Report nº 299. The Ohio State University.
- 07 – FERNANDES, J.G. Notícia sobre o Emprego dos Sistemas Raydist na Hidrografia Brasileira – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Rio de Janeiro, 1958. 21 fls.
- 08 – GEMAEL, C. Introdução à Geodésia Celeste. Curitiba, UFPR. 1975. 2v.
- 09 – GEMAEL, C. Referências Cartesianos utilizados em Geodésia. Curitiba, UFPR, 1981.
- 10 – JOHNSON, C. & WARD, P. – “G. P. S. Application to Seismic Oil Exploration” – Global Positioning System – Trabalho publicado em NAVIGATION, e reimpresso pelo “The Institute of Navigation”. Washington, D.C. U.S.A., VOLUME I, pg. 195-203, 1980.

- 11 – SILVA, P.M. A Disseminação de Tempo de Freqüência no Brasil. Trabalho de Contribuição por ocasião da passagem do 159º aniversário do Observatório Nacional, 1986.
- 12 – SILVA, P.M. e SILVA I.M. Projeto de um Sistema Experimental para a Disseminação do Tempo de Freqüência através de um Satélite Geoestacionário Brasileiro. Monografia para o Ministério das Comunicações. Observatório Nacional, 1976.
- 13 – SPILKER, J.J. “G. P. S. Signal Structure and Performance Characteristics”- GLOBAL POSITIONING SYSTEM, trabalho publicado em NAVIGATION, e reimpresso pelo “The Institute of Navigation”. Washington, D.C, U.S. A., VOLUME I, pag. 29-54, 1980.
- 14 – The Defense Mapping Agency – Department of Defense World Geodesic System 1984 – Its definition and relationships with local Geodetic Systems – DMA Technical Report 8350.2, 1987.
- 15 – WELLS, D. et. alii. Guide to G. P. S. Positioning Fredericton, New Brunswick, Canadá. University of New Brunswick Graphic Services, 1986.