

37

NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES

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

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

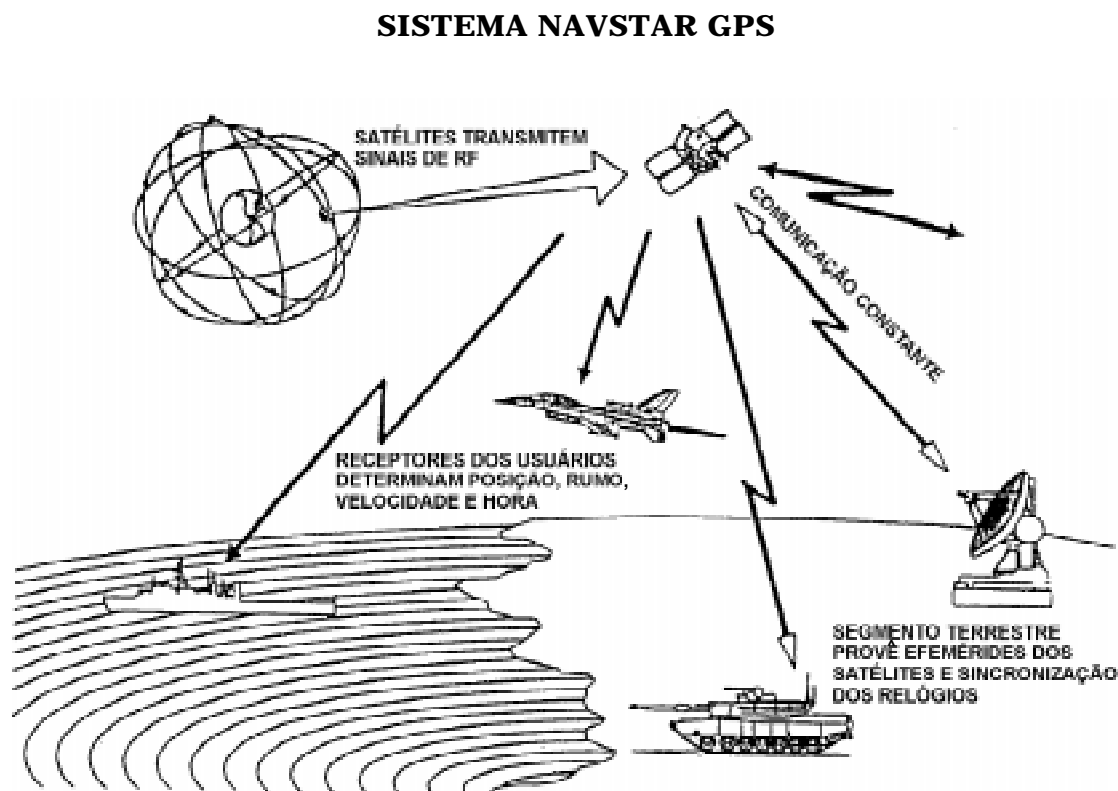
No início dos anos 70, a necessidade de um sistema de navegação por satélites de alta precisão, com cobertura mundial, que fosse disponível a qualquer momento, sob quaisquer condições meteorológicas, tornou-se premente no âmbito das forças armadas dos Estados Unidos. Além disso, uma capacidade de posicionamento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

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

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

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

Figura 37.1 – Componentes do Sistema NAVSTAR GPS

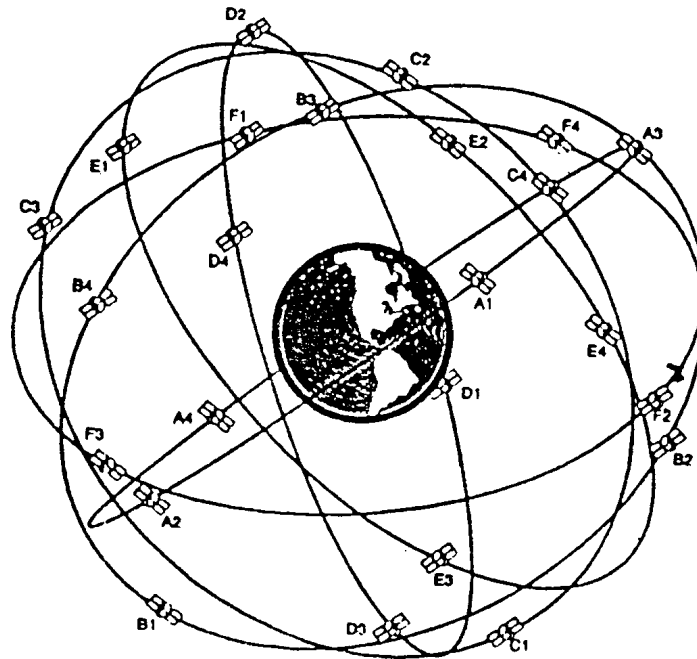


No que se refere ao segmento espacial, após o exame de várias possíveis configurações, optou-se por um sistema baseado em uma constelação de 24 satélites, em órbitas de grande altitude ao redor da Terra. Os 24 satélites GPS (figura 37.2) estão distribuídos em 6 planos orbitais (com 4 satélites em cada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

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

Figura 37.2 - Constelação de Satélites GPS

SEGMENTO ESPACIAL DO GPS



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

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

Figura 37.3 - Satélite GPS

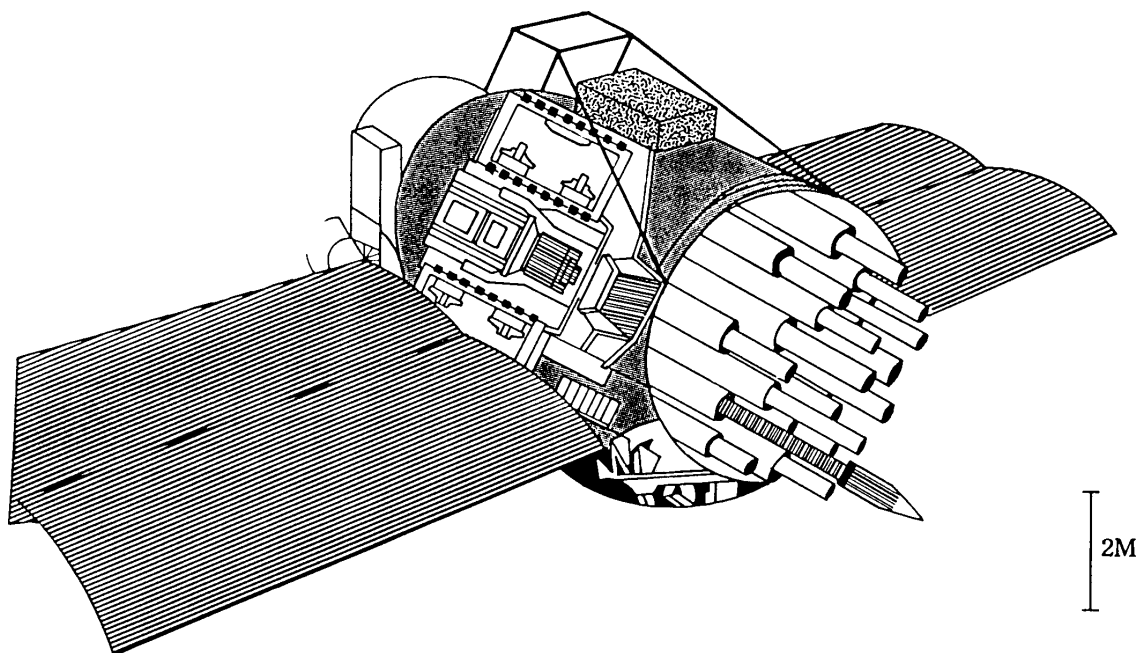
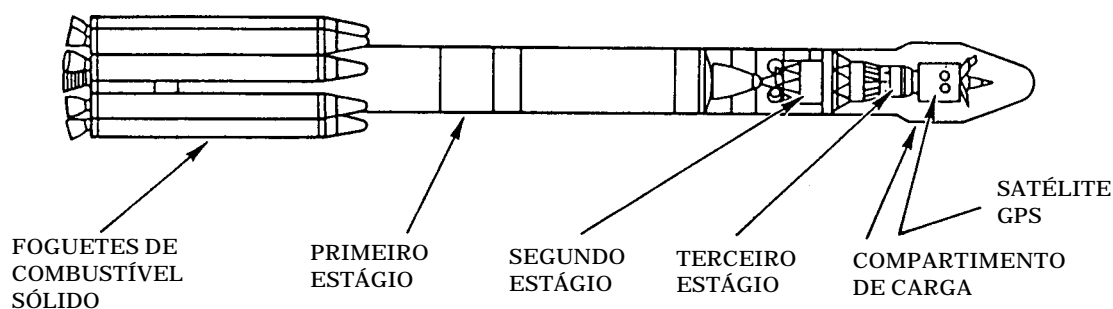


Figura 37.3a - Foguete Delta II (Desenvolvido para Lançamento dos Satélites GPS)



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

Figura 37.4 - Programa de Lançamento dos Satélites GPS

	89	90	91	92	93	94	95	96
LANÇADOS								
PROGRAMADOS								
SUBSTITUIÇÕES								

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

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

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

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

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

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

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

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

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

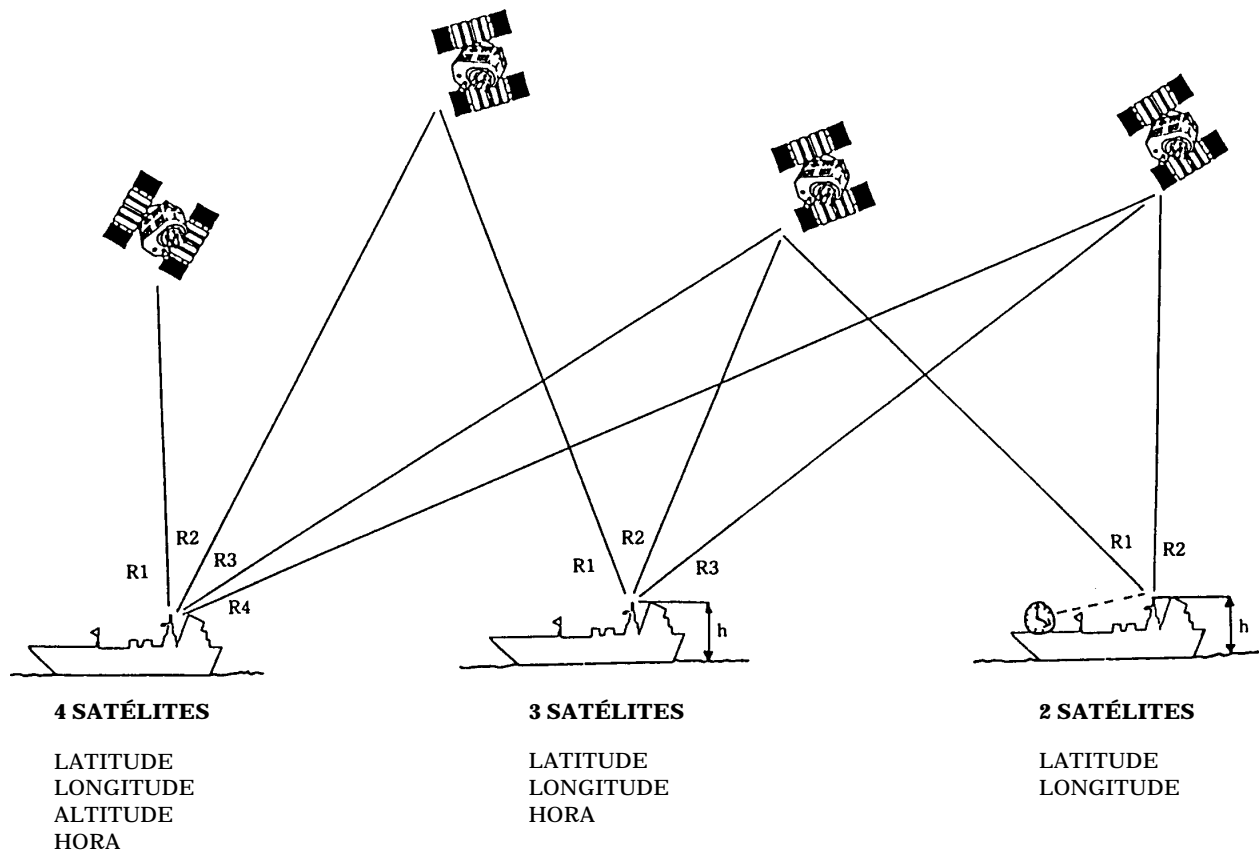
O segmento terrestre (“GROUND/CONTROL SEGMENT”), mostrado na figura 37.5, monitora e controla o sistema, mantém uma base comum de tempo para todos os satélites e provê dados precisos de suas posições no espaço, em qualquer instante.

Figura 37.5 - Segmento de Controle do Sistema GPS



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

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

Figura 37.6 – Número de Satélites GPS Necessários para Posicionamento

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

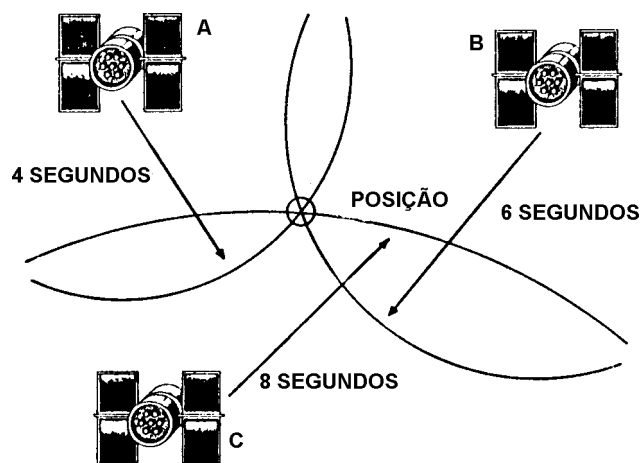
O segmento do usuário é constituído pelos receptores GPS e equipamentos associados, que, basicamente, determinam com precisão a distância do receptor para vários satélites (através da medição dos tempos de trajeto dos sinais transmitidos pelos satélites) e computam a posição do receptor e a hora exata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

37.2 DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO GPS

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

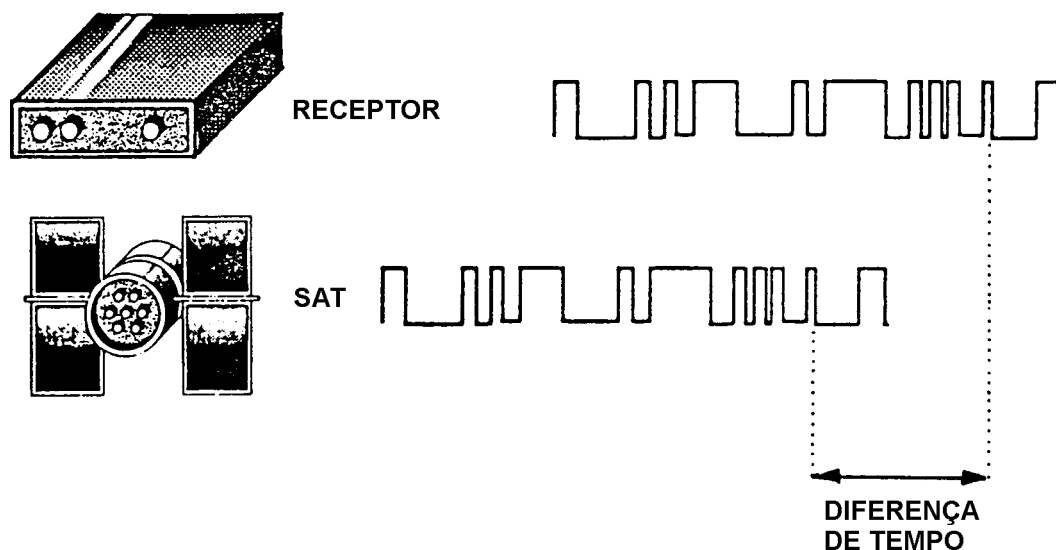
Na figura 37.7, a distância do receptor GPS ao satélite **A** foi determinada com base na medida do intervalo de tempo de 4 segundos entre a transmissão do sinal pelo satélite **A** e sua recepção a bordo. Medindo este tempo e conhecendo a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas (@ 300.000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

Figura 37.7 - Posição GPS



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

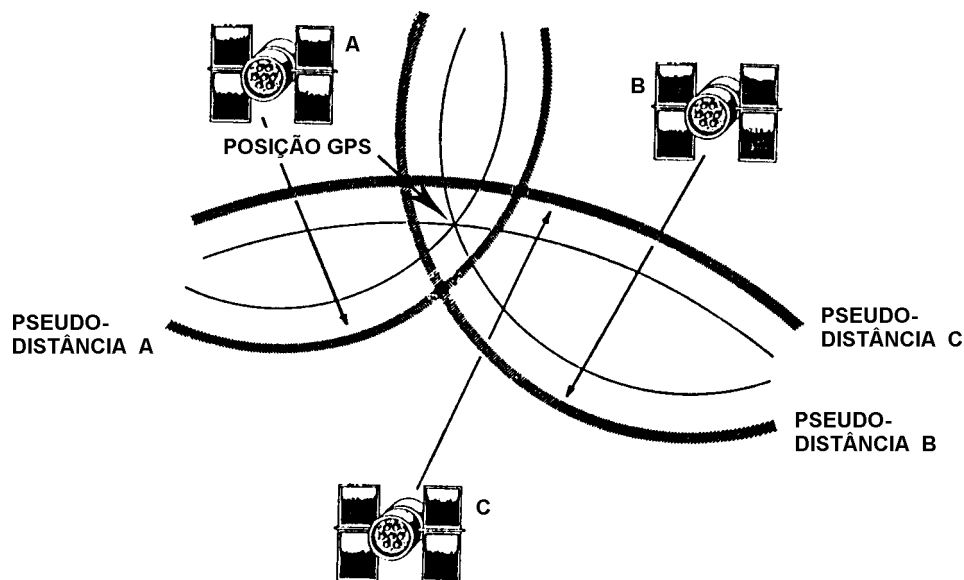
Figura 37.8 - Medida da Diferença de Tempo no Sistema GPS



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

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

Figura 37.9 - Posição GPS por Pseudo-Distâncias



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

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

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

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

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

37.3 PRECISÃO DO SISTEMA GPS

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

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

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

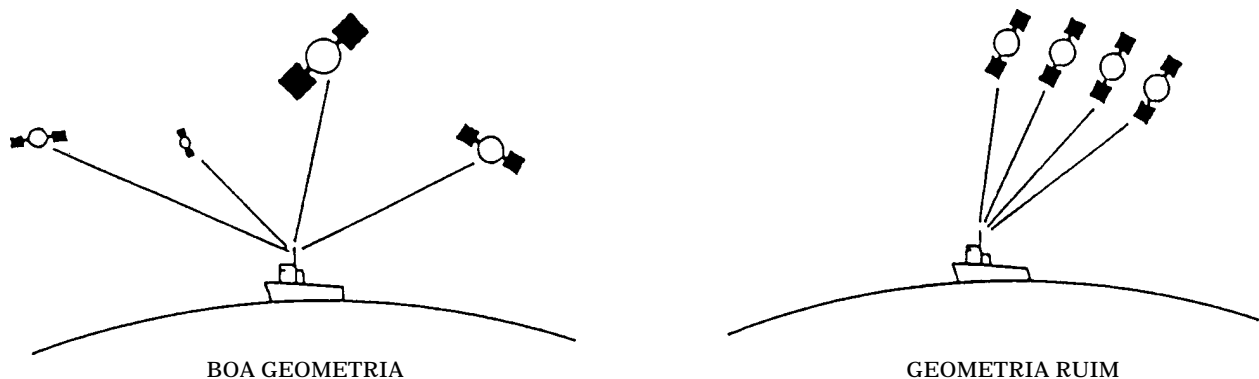
Na passagem pela ionosfera, que é composta de partículas eletricamente carregadas que refratam as ondas de rádio, o sinal do satélite é atrasado. Os receptores GPS mais avançados, capazes de receber as duas frequências emitidas pelos satélites, eliminam a maior parte desse erro. Além disso, a troposfera,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

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

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

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

Figura 37.10 – Efeitos da Geometria na Precisão da Posição GPS



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

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

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

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

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

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

37.4 RECEPTORES GPS

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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



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

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



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

- interface com a agulha e o odômetro;

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

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

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

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

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

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

- capacidade de interface com radar e/ou ecobatímetro;

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

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

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

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

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

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

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

Figura 37.14 - Receptor Integrado GPS/LORAN-C

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

37.5 GPS DIFERENCIAL (DGPS)

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

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

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

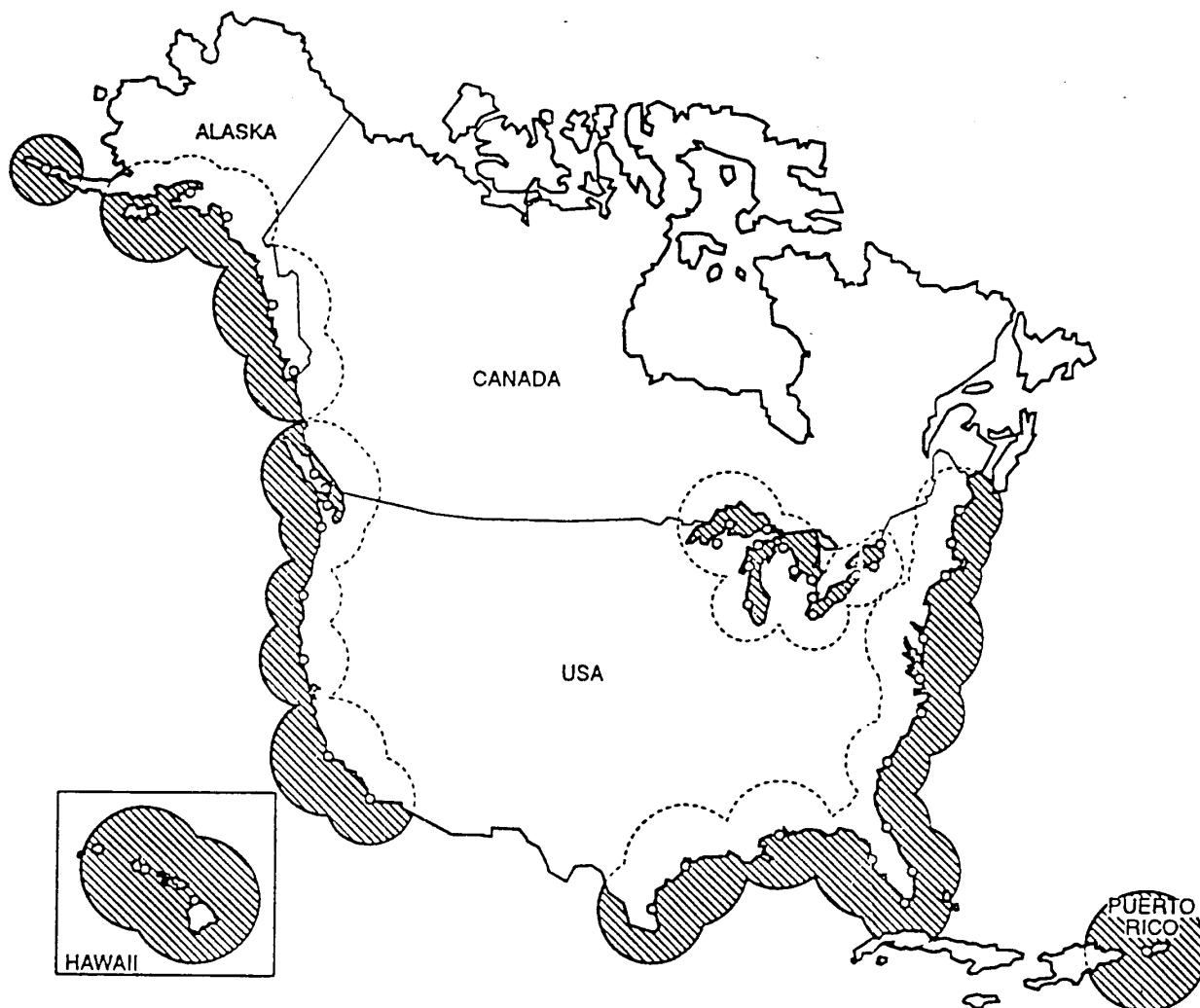
O conceito Diferencial é anterior ao sistema GPS, tendo sido originalmente aplicado aos Sistemas Eletrônicos de Navegação Baseados em Terra, como o Omega.

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

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

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

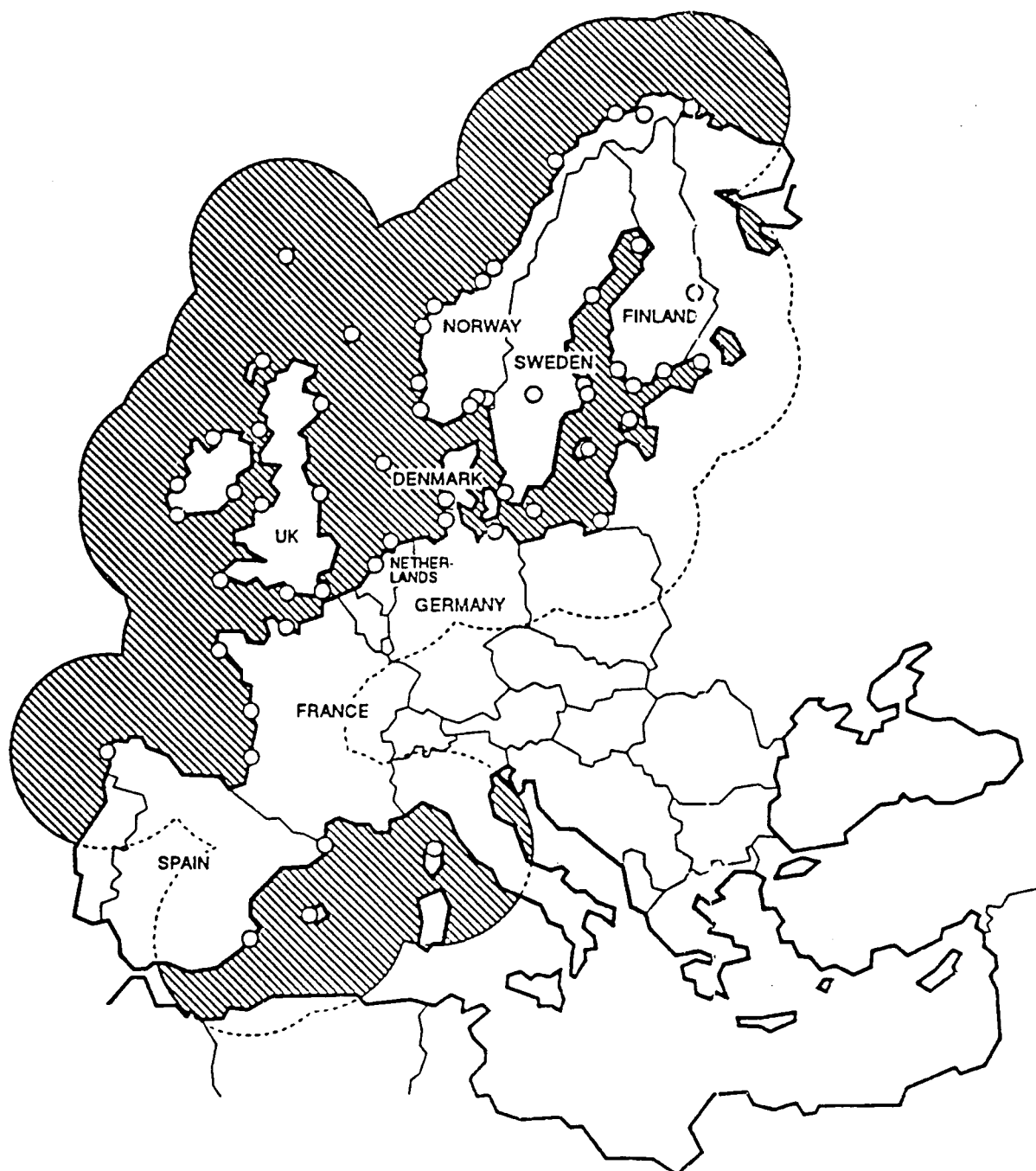
Figura 37.15 - Cobertura DGPS Empregando a Transmissão dos Radiofaróis em Implantação nos Estados Unidos



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

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

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

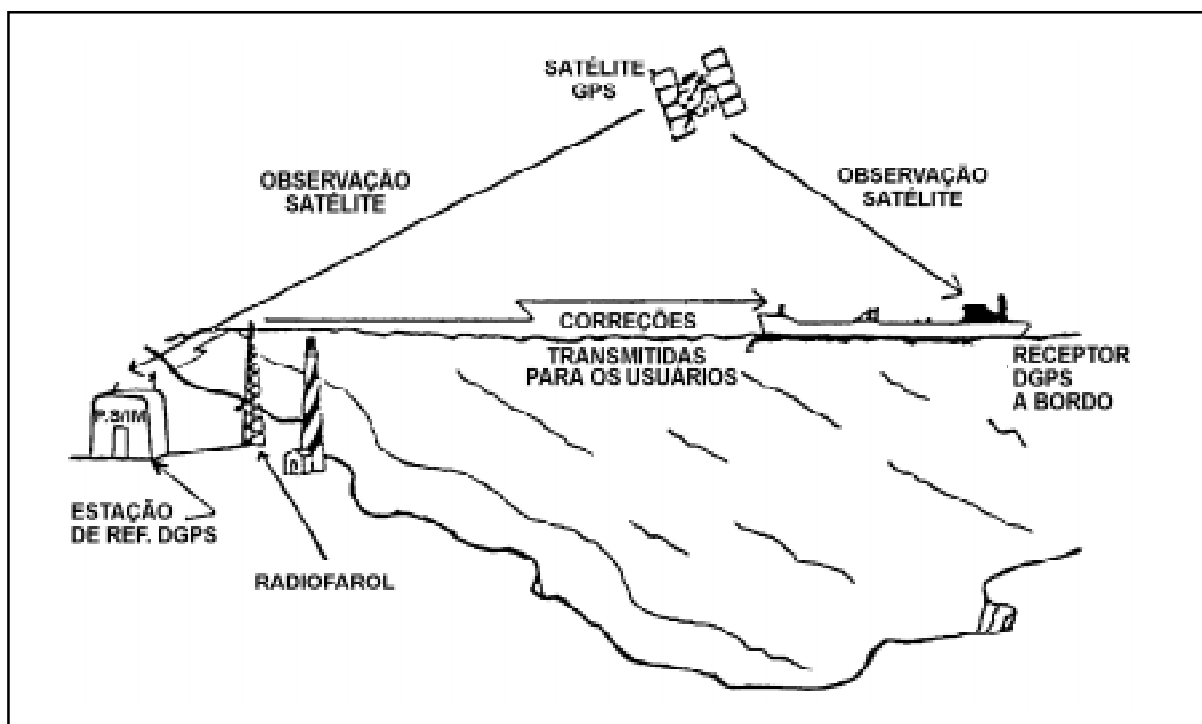


37.6 COMPONENTES DO DGPS. CONCEITO DE OPERAÇÃO

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

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

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



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

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

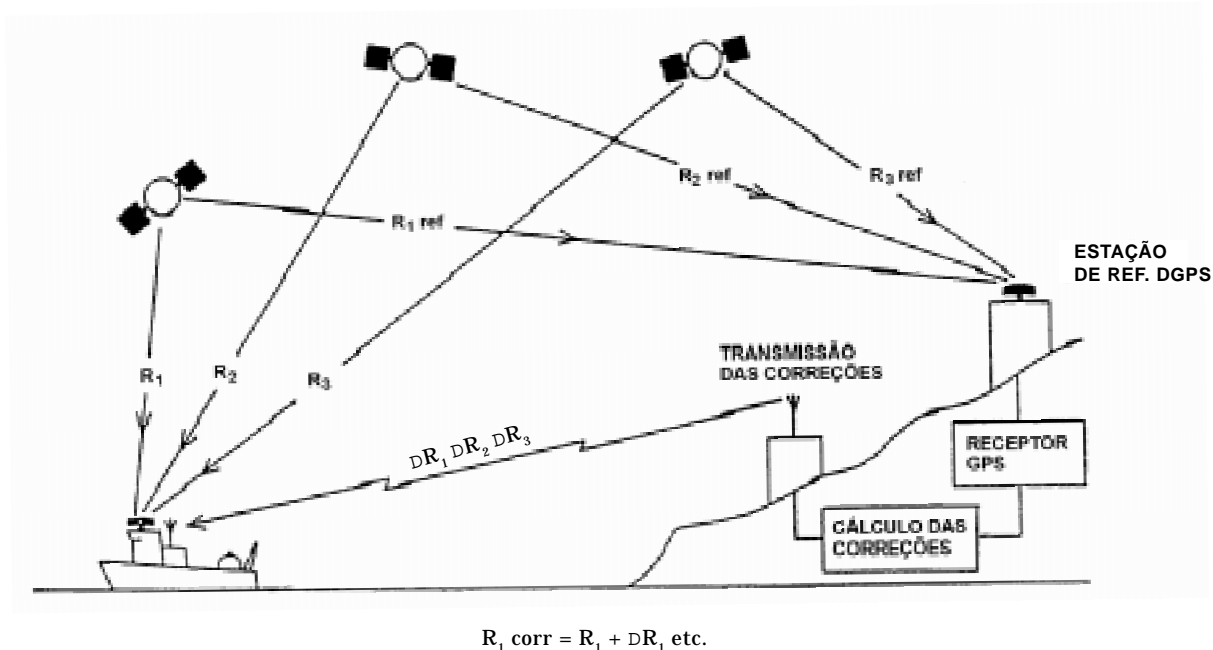
mesmo tempo, o receptor GPS mede as distâncias para os satélites que estão sendo acompanhados e computa as diferenças entre as distâncias calculadas e as distâncias medidas, obtendo correções na medida da distância para cada satélite.

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

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

Na figura 37.18, por exemplo, o receptor GPS na Estação de Referência DGPS mede as distâncias aos três satélites que estão sendo acompanhados e determina os valores de R_{1ref} , R_{2ref} e R_{3ref} . Ao mesmo tempo, compara estes valores com as distâncias calculadas aos três satélites e obtém as correções ΔR_1 , ΔR_2 e ΔR_3 . Tais correções são transmitidas pelo “link” de comunicações da estação. A bordo do navio, o receptor DGPS mede as distâncias aos três satélites, obtendo os valores R_1 , R_2 e R_3 . Ao mesmo tempo, recebe as correções transmitidas pela Estação de Referência DGPS e calcula as distâncias corretas aos satélites: $R_{1corr} = R_1 + \Delta R_1$, etc. A posição GPS é, então, calculada com os valores corretos de distâncias, o que proporciona uma precisão muito melhor.

Figura 37.18 – GPS Diferencial (Correções DGPS)



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

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

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

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

Figura 37.19 - Cobertura da Rede DGPS da Costa do Brasil

(NÃO REPRESENTADA A COBERTURA TERRESTRE)

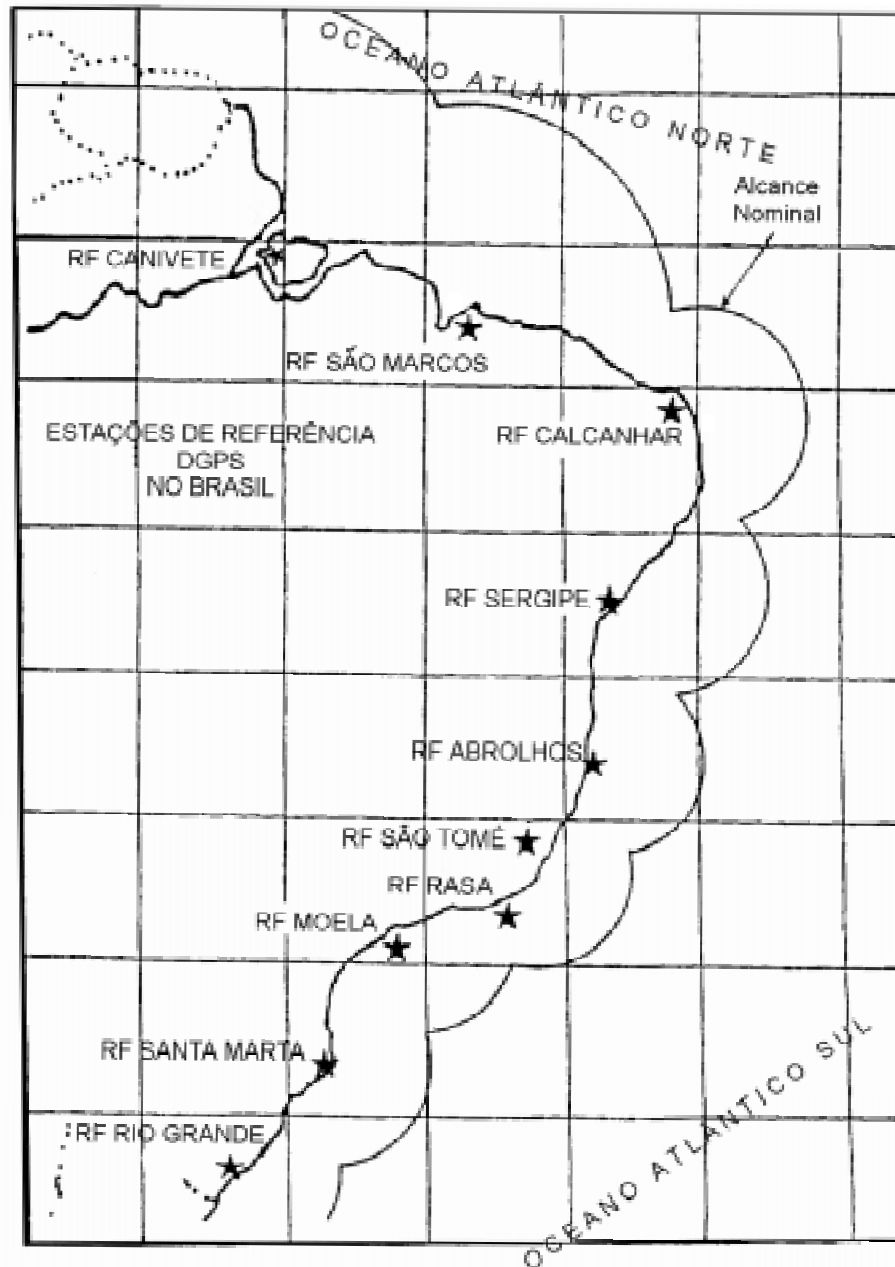


Figura 37.19a - Rede DGPS da Costa do Brasil

Tabela atualizada até 29/02/2000

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

OBSERVAÇÕES:

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

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

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

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

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

Então, conclui-se que:

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

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

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

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

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

37.8 OBSERVAÇÕES FINAIS SOBRE O SISTEMA GPS

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

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

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

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

37.9 GLOSSÁRIO DE TERMOS ASSOCIADOS AO GPS

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

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

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