MARINHA DO BRASIL
ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE NAÚTICA (APNT)

A EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES E SUA IMPORTÂNCIA PARA A EMANCIPAÇÃO À NÍVEL DE POSICIONAMENTO GLOBAL DE ALGUMAS DAS PRINCIPAIS POTÊNCIAS MUNDIAIS

Por: Marco Antonio Gomes de Campos

Rio de Janeiro
2012

MARINHA DO BRASIL
ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE NAÚTICA (APNT)

A EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES E SUA IMPORTÂNCIA PARA A EMANCIPAÇÃO À NÍVEL DE POSICIONAMENTO GLOBAL DE ALGUMAS DAS PRINCIPAIS POTÊNCIAS MUNDIAIS

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha - CIAGA como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Náutica (APNT) da Marinha Mercante.
Orientador: MSc. Hermann Regazzi Gerk

Marco Antonio Gomes de Campos

Rio de Janeiro
2012

MARINHA DO BRASIL
ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE NAÚTICA (APNT)

MARCO ANTONIO GOMES DE CAMPOS

A EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES E SUA IMPORTÂNCIA PARA A EMANCIPAÇÃO À NÍVEL DE POSICIONAMENTO GLOBAL DE ALGUMAS DAS PRINCIPAIS POTÊNCIAS MUNDIAIS

Banca Examinadora:

_____
Professor (nome e titulação)

_____
Professor (nome e titulação)

_____
Professor (nome e titulação)

CONCEITO FINAL: _____

DATA: _____

Rio de Janeiro
2012

DEDICATÓRIA

Dedico este singelo trabalho à minha amada esposa Sinara, que sempre com muito amor e paciência, me deu o apoio necessário para superar os obstáculos dessa etapa da minha carreira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por julgar-me merecedor desta realização.

À minha mãe Luzia por todo incentivo e dedicação, desde os tempos de EFOMM.

E ao meu irmão João Eduardo pelo companheirismo e pela devida descontração nos momento de tensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Mestre Hermann por ter me ajudado e me orientado, mais uma vez, nesse nosso reencontro.

Ao Mestre Valgas Lobo pela paciência e determinação na correção deste trabalho.

Ao CLC Carlos Amantes por ser um grande incentivador da minha carreira.

Ao meu ex-Gerente Engenheiro Aristeu Andreatta e ao meu atual Gerente Engenheiro Douglas Rosa, ambos da Queiroz Galvão Óleo e Gás, que me proporcionaram a oportunidade de estar participando deste curso.

E a todos os mestres que lecionaram neste curso de aperfeiçoamento e que contribuíram diretamente para o meu desenvolvimento profissional.

RESUMO

Este projeto tem como objetivo o estudo da evolução do sistema de posicionamento por satélites de modo a expor a importância dessa tecnologia para emancipação, em nível de posicionamento global, de algumas das principais potencias globais da atualidade. Para isso será realizado um breve histórico do sistema, explicando a evolução de seus conceitos, assim como haverá também a explicação das definições necessárias. Será realizada também uma abordagem das principais características das tecnologias disponíveis no mercado atualmente, efetuando uma explanação sobre os diversos recursos disponibilizados pelos governos proprietários. Também serão esclarecidos os métodos de posicionamento oferecidos por esses sistemas. Além disso, serão abordadas as novas tecnologias, as quais estão em desenvolvimento por outros governos e que estarão disponíveis para o mercado nos próximos anos. Por fim, será realizada uma análise conclusiva sobre a importância dos sistemas de posicionamento global por satélites para algumas das principais potências globais, as quais têm trabalhado arduamente para obter essa emancipação tecnológica.

Palavras chaves:

1. Posicionamento Global 2. Satélites 3. Evolução

ABSTRACT

This project aims to study the evolution of satellite positioning system to expose the importance of this technology for emancipation, in global positioning level, for some of the actual major global nations. For this matter, will be performed a brief history of the system, explaining the evolution of its concepts, as well as the explanation of the necessary definitions. It will also be performed an approach of the main characteristics of the technologies available today, making an explanation on the various resources provided by the holder governments. It will be clarified the positioning methods offered by these systems. In addition, it will be discussed the new technologies which are being developed by other governments and which will be available to the users in the upcoming years. At the end, there will be a conclusive analysis on the importance of global positioning system satellites to some of the major global nations, which have worked hard to get this technological emancipation.

Keywords:

1. Global Positioning 2. Satellites 3. Evolution

LISTA DE FIGURAS

1 – Satélite (ou Satélite Artificial) 13
2 – Exemplo de Cobertura Global de Satélites 17
3 – Componentes/ Segmentos do Sistema GPS 21
4 – Status da Constelação dos Satélites do GPS 23
5 – Sumário da Modernização dos Satélites do GPS 24
6 – Estações de controle do GPS 25
7 – Modelos de Receptores GPS 27
8 – Status da Constelação dos Satélites do GLONASS 31
9 – Sumário da Modernização dos Satélites do GLONASS 32
10 – Estações de controle do GLONASS 33
11 – Status da Constelação dos Satélites do GALILEO 40
12 – Componentes do Sistema GALILEO 41
13 – Lista de Satélites Lançados do COMPASS 44

LISTA DE ABREVIATURAS

GLONASS – Global Orbiting Navigation Satellite System
GNSS – Global Navigation Satellite Systems
GPS – Global Positioning System
NAVSTAR – Navigation Satellite with Timing and Ranging
NAVSAT – Navigation Satellite
NNSS – Navy Navigation Satellite System
PPS – Precise Positioning Service
SPS – Standard Positioning Service
SP – Standard Precision
HP – High Precision
WGS84 – World Geodetic System 1984
PZ90 – Parametry Zemli 1990
FDMA – Frequency Division Multiple Access
CDMA – Code Division Multiple Access
RTK – Real Time Kinematic
PRC – Pseudo Range Correction
RRC – Range Rate Correction
RTCM – Radio Technical Commission for Maritime Services
LF – Low Frequency
MF – Medium Frequency
MEO – Órbita Terrestre Média
ESA – European Space Agency
IOV – In Orbit Validation
ITU – International Telecommunications Union
CNSS – Compass Navigation Satellite System
GEO – Geostationary Earth Orbit
IGSO – International Geodetic Students Organization

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **12**

CAPÍTULO 1 – Sistema de Posicionamento por Satélites **13**
1.1 – Conceitos e Definições 13
1.2 – Histórico 14

CAPÍTULO 2 – Principais Sistemas da Atualidade **17**
2.1 – Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Estado Unidos) 17
2.1.1 – Características e Composição 17
2.1.1.1 – Segmento Espacial 21
2.1.1.2 – Segmento de Controle 23
2.1.1.3 – Segmento dos Usuários 24
2.2 – Sistema de Navegação Global por Satélite (GLONASS) (Rússia) 26
2.2.1 – Características e Composição 27
2.2.1.1 – Segmento Espacial 29
2.2.1.2 – Segmento de Controle 31
2.2.1.3 – Segmento dos Usuários 32

CAPÍTULO 3 – Métodos de Posicionamento por Satélite **34**
3.1 – Posicionamento Absoluto 34
3.2 – Posicionamento Relativo 35
3.3 – Posicionamento Diferencial 36

CAPÍTULO 4 – Novas Tecnologias de Posicionamento Global por Satélites **39**
4.1 – GALILEO (União Européia) 39
4.2 – COMPASS (China) 42

CONCLUSÃO 45

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47

INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de se saber a localização exata de pontos no globo terrestre, seja para fins militares ou civis, há uma busca cada vez maior pela tecnologia empregada para obtenção dessas posições. Com isso, alguns governos têm trabalhado para desenvolver sistemas capazes de determinar qualquer posição desejada no globo terrestre, do modo mais preciso possível.

Inicialmente, esses sistemas têm sido desenvolvidos para uso militar, para que, por exemplo, um alvo possa ser atingido com a máxima segurança e eficácia.

Posteriormente, esses sistemas foram sendo empregados para o uso civil, nas mais diversas operações, desde as mais simples, como guiar um automóvel para um destino determinado, até as mais complexas, como orientar embarcações e aeronaves.

Neste trabalho, será apresentado no Capítulo 1, um breve relato sobre o histórico da evolução dos sistemas de posicionamento global por satélites, assim como as necessárias definições.

No Capítulo 2, será realizada uma abordagem sobre os principais sistemas disponíveis hoje no mercado, assim como, será realizada uma explicação das principais características e serviços oferecidos pelos governos fornecedores dos sistemas.

Para esclarecer o tipo de serviço oferecido, tratando-se de posicionamento, serão expostos no Capítulo 3, os principais métodos de posicionamento utilizados em navegação por de satélites.

Serão abordados no Capítulo 4, os novos sistemas que estão em desenvolvimento pelos governos da União Européia e da China, e que estarão disponíveis para o mercado nos próximos anos.

Então será realizada uma conclusão sobre a importância dessa tecnologia dos sistemas de posicionamento global por satélites, para a emancipação, em nível de posicionamento global, para as principais potências mundiais.

CAPÍTULO 1

1. Sistema de Posicionamento por Satélites

1.1 Conceitos e Definições

Posicionamento é a determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico (MIGUENS, 2010).

Um satélite artificial é qualquer corpo feito pelo homem e colocado em órbita ao redor da Terra ou de qualquer outro planeta. Hoje em dia, ao contrário do que ocorria no início da história dos satélites artificiais, o termo “satélite” vem sendo usado praticamente como um sinônimo para "satélite artificial". Os mesmos são utilizados para sistemas de posicionamento, para comunicações, para experimentos científicos e para fins militares.

Figura 1 – Satélite (ou Satélite Artificial)

Sistemas de posicionamento por satélites são sistemas que estabelecem o posicionamento geo-espacial autônomo através do uso de satélites artificiais e com cobertura global, genericamente chamados de Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS - Global Navigation Satellite Systems). Esses sistemas permitem que pequenos aparelhos eletrônicos (receptores) determinem uma localização

(longitude, latitude e altitude), usando sinais rádios de alta frequência transmitidos ao longo de uma linha de marcação pelos satélites.

A cobertura global para cada sistema é geralmente atingida por uma constelação de 20 a 30 satélites em órbitas circulares médias, entre vários planos orbitais. Os atuais sistemas variam, mas usam as inclinações de órbita de >50° e períodos orbitais de cerca de 12 horas (altura 20 000 km).

Figura 2 – Exemplo de Cobertura Global de Satélites

1.2 Histórico

Com o lançamento do satélite “Sputinik I” pelos russos em 1957, começou a utilização de satélites para o posicionamento geodésico. Em 1958, os americanos lançaram o satélite “Vanguard” tendo assim o início do desenvolvimento do sistema NAVSTAR (Navigation Satellite with Timing and Ranging).

O principal motivo para o desenvolvimento da navegação por satélite foi para uso militar. Esta navegação permite uma precisão que antes era impossível se conseguir no emprego dos armamentos, aumentando sua precisão e, por conseguinte, sua letalidade, diminuindo assim os erros dos disparos por falta de precisão.

A partir de 1967, foi liberado para uso civil, o sistema denominado NAVSAT (Navy Navigation Satellite System (NNSS)) também chamado de TRANSIT

(Logsdon,1992). O princípio de seu funcionamento baseava-se no chamado “efeito Doppler”, pelo qual a frequência de um sinal emitido por uma fonte em deslocamento é alterada. O sistema TRANSIT apresentava algumas limitações: o pequeno número de satélites e a sua baixa órbita impediam que se pudesse obter a posição do receptor a qualquer momento; por se basear no efeito Doppler, apresentava elevada imprecisão quando o receptor se movimentava.

Em 1973 iniciou-se o desenvolvimento do Global Positioning System (GPS), projetado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América para oferecer a posição instantânea, bem como a velocidade e o horário de um ponto qualquer sobre a superfície terrestre ou bem próxima a ela num referencial tridimensional (LETHAM, 1996).

O sistema GPS entrou em operação em 1991 e em 1993 a constelação dos satélites utilizados pelo sistema foi concluída.

O sistema TRANSIT ficou obsoleto com a entrada em operação do GPS, e foi aposentado em 1996, mas seus satélites foram mantidos em atividade, com a finalidade de monitoramento da ionosfera.

O GPS foi projetado de forma que em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento existam pelo menos quatro satélites acima do plano horizontal do observador (BLITZKOW, 1995). Aperfeiçoamentos na parte eletrônica permitiram ao sistema GPS emitir vários sinais ao mesmo tempo, o que reduziu grandemente a complexidade no cálculo de posição. Além disso, o sistema GPS usa um número maior de satélites que o TRANSIT, permitindo que o sistema seja utilizado continuamente, enquanto que o TRANSIT possibilitava somente uma atualização a cada uma hora ou mais. Inicialmente desenvolvido para fins militares, o GPS é hoje utilizado por diversos segmentos da sociedade civil, e seu uso tende a se popularizar cada vez mais.

Desde o lançamento dos primeiros receptores GPS no mercado, tem havido um crescente número de aplicações nos levantamentos topográficos, cartográficos e de navegação, face às vantagens oferecidas pelo sistema quanto à precisão, rapidez, versatilidade e economia.

Paralelamente ao GPS, foi desenvolvido em 1976, pela antiga União Soviética (URSS), o Sistema GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System). Com início em Outubro de 1982, muitos foguetes foram lançados, adicionando satélites

ao sistema até que a constelação inicial foi concluída em 1995. Com o fim da União Soviética o sistema foi sendo gradativamente deteriorado, até que em 2004 o governo da Rússia decidiu por recuperá-lo. A partir disso, foi iniciada uma restauração e atualização do sistema, o que foi completado em sua cobertura global apenas em outubro de 2011.

O GLONASS tornou-se um sistema alternativo ao GPS. Sua vantagem, em comparação ao mesmo, é de ser gratuito em sua resolução máxima, uma vez que os EUA não oferecem isso, por razões militares.

Até o momento, o Global Positioning System (GPS), dos Estados Unidos, e o GLONASS, da Rússia, são os dois únicos sistemas de posicionamento global por satélites inteiramente operacionais. O sistema de posicionamento GALILEO, da União Europeia, é um sistema de navegação em fase inicial de implantação, previsto para entrar em operação em 2014. A República Popular da China indicou que vai ampliar seu sistema de navegação regional, o BeiDou, para um sistema de posicionamento global, o COMPASS, em 2020.

CAPÍTULO 2

2. Principais Sistemas da Atualidade

2.1 Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Estado Unidos)

O GPS é um sistema de cálculo de posicionamento a partir de sinais enviados por uma rede de satélites, mantida pelo Departamento de Defesa dos EUA.

Este sistema consiste no uso de satélites em órbita pelo planeta para transmitir uma lista de posições conhecidas dos satélites, chamada de almanaque, para os receptores, os quais podem estar na palma da mão ou no painel de carros, aeronaves e embarcações. Controles em terra rastreiam os satélites e mantém seus almanaques atualizados. Cada satélite emite sinais de rádio em alta frequência exatamente ao mesmo tempo, estes sinais são criptografados com códigos liberados para o uso civil e códigos de uso exclusivo para usuários militares. Os receptores captam estes sinais e fazem os cálculos de posição.

2.1.1 Características e Composição

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, 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 à 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 (posição 2D – latitude e longitude) com a superfície da Terra, ou ainda, a distância a um quarto satélite (posição 3D – latitude, longitude e altitude).

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.

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. Em vez disso, os receptores GPS, em sua maioria, empregam para referência de tempo um oscilador à cristal, que permite uma sincronização com boa aproximação entre ele e o satélite. Mas, com isso, fica introduzido um erro de tempo na medida da duração do trajeto entre a emissão e a recepção do sinal. Este fator, somado ao erro decorrente da variação da velocidade de propagação do sinal, resulta em um pequeno erro de distância, que é comum a todas as distâncias GPS medidas em um determinado momento. Então, as distâncias assim obtidas são denominadas de pseudo-distâncias (“pseudoranges”), ou distâncias aparentes, aos satélites.

Inicialmente, essas 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 linhas de posição resultantes convirjam 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.

Então, um quarto satélite será necessário, se a altitude também tiver que ser determinada. 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 um 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, consequentemente, 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 quatro melhores satélites para emprego na obtenção da posição, em qualquer hora e lugar.

Os sinais L1 e L2 são, também, modulados por duas sequências 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. O Código P está disponível apenas para usuários autorizados, sendo decifrável somente por receptores que têm acesso às informações criptografadas contidas na mensagem de navegação do satélite.

As frequências de rádio transmitidas pelos satélites são sujeitas a interferências que podem afetar sua precisão, como:

- **Efeitos Ionosféricos e Troposféricos:** Os sinais sofrem uma redução de velocidade ao atravessarem a atmosfera. Geralmente o sistema estima o atraso médio e faz a correção parcial deste tipo de erro;

- **Reflexão dos sinais:** Os sinais sofrem este tipo de erro quando são refletidos em superfícies sólidas, como edifícios e montanhas antes de atingirem os receptores. Essas Reflexões geram um atraso dos sinais até o receptor causando o erro;
- **Erros de órbita ou de Efemérides:** Erros causados por informações não precisas dos satélites;
- **Geometria dos satélites visíveis:** A posição relativa dos satélites visíveis, com ângulos pequenos de separação entre eles, pode prejudicar a precisão do sistema;
- **Número reduzido de satélites visíveis:** Quanto menor o número de satélites visíveis maiores são as possibilidades de erros, em função de outros fatores, como folhagens, edificações, terreno, etc.

O GPS é constituído por três componentes principais (ver figura 3): o segmento espacial (satélites), o segmento de controle (monitoramento e controle) e o segmento dos usuários (receptores GPS e equipamentos associados). As três partes operam em constante interação, proporcionando, simultânea e continuamente, dados de posicionamento tridimensional (Latitude, Longitude e altitude), rumo, velocidade e tempo (hora), com alta precisão.

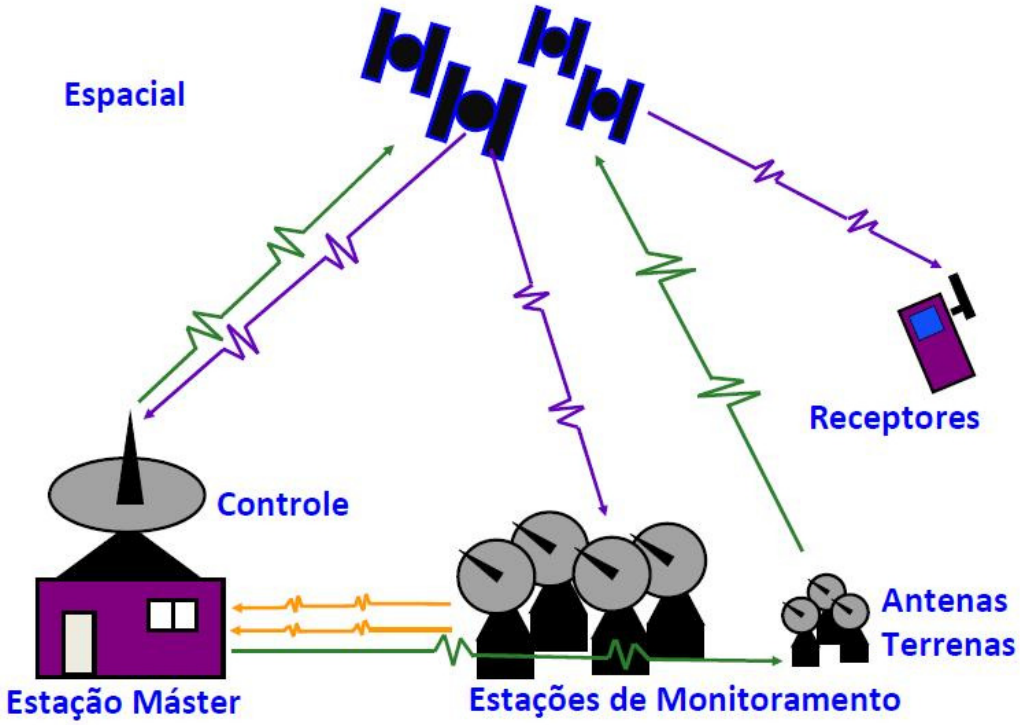

Figura 3 – Componentes/ Segmentos do Sistema GPS

2.1.1.1 Segmento Espacial

O Sistema GPS é composto por uma constelação de satélites, inicialmente seriam 24 satélites, distribuídos em três planos orbitais com oito satélites cada, mas isso foi modificado para seis planos orbitais com quatro satélites cada. Essas órbitas têm inclinação de 55º em relação ao Equador e são separadas por 60 ° de ascensão direita do nodo ascendente (ângulo ao longo do equador de um ponto de referência à intersecção da órbita). O período orbital é de meio dia sideral, ou seja, 11 horas e 58 minutos. As órbitas estão dispostas de modo que pelo menos seis satélites estão sempre dentro da linha de visão de quase toda a superfície da Terra. O resultado disso é que os quatro satélites não são uniformemente espaçados (90 graus) distante dentro de cada órbita. Em termos gerais, a diferença angular entre os satélites em cada órbita é de 30, 105, 120 e 105 graus de separação, que cuja soma é de 360 graus.

Orbitando a uma altitude de cerca de 20.200 km (12.600 milhas); em um raio orbital de aproximadamente 26.600 km (16.500 milhas), cada satélite faz duas órbitas completas para cada dia sideral, repetindo a mesma faixa de solo a cada dia. Isto foi muito útil durante desenvolvimento, pois mesmo com apenas quatro satélites, o alinhamento correto significa que todos os quatro são visíveis de um mesmo lugar por algumas horas a cada dia. Para as operações militares, a repetição da faixa de solo pode ser usada para garantir uma boa cobertura em zonas de combate.

Atualmente existem 31 satélites funcionando ativamente na constelação do GPS, e dois mais antigos, retirados do serviço ativo e mantidos na constelação como sobressalentes orbitais. Os satélites adicionais melhoraram a precisão dos cálculos dos receptores GPS, fornecendo medições redundantes. Com o aumento do número de satélites, a constelação foi mudada para um arranjo não uniforme. Esse arranjo melhorou a confiabilidade e disponibilidade do sistema, em relação a um sistema uniforme, quando vários satélites falham. Atualmente, cerca de nove satélites são visíveis de qualquer ponto do solo, a qualquer momento, garantindo considerável redundância acerca dos quatro satélites mínimos necessários para se obter uma posição.

GPS constellation status, 08.09.12

Total satellites in constellation	31 SC
Operational	31 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	-
In decommissioning phase	-

GPS constellation status for 08.09.12 under the analysis of the almanac accepted in IAC

Plane	Slot	PRN	NORAD	Type SC	Launch date	Input date	Outage date	Active life (months)	Notes
A	1	9	22700	II-A	26.06.93	20.07.93		228.4	
	2	31	29486	IIR-M	25.09.06	13.10.06		70.8	
	3	8	25030	II-A	06.11.97	18.12.97		175.8	
	4	7	32711	IIR-M	15.03.08	24.03.08		53.5	
	6	27	22108	II-A	09.09.92	30.09.92		234.5	
B	1	16	27663	II-R	29.01.03	18.02.03		114.5	
	2	25	36585	II-F	28.05.10	27.08.10		24.4	
	3	28	26407	II-R	16.07.00	17.08.00		144.8	
	4	12	29601	IIR-M	17.11.06	13.12.06		68.7	
	5	30	22779	II-A	30.08.93	28.09.93		195.2	
C	1	29	32384	IIR-M	20.12.07	02.01.08		56.2	
	2	3	23833	II-A	28.03.96	09.04.96		195.6	
	3	19	28190	II-R	20.03.04	05.04.04		101.1	
	4	17	28874	IIR-M	26.09.05	13.11.05		80.6	
	6	6	23027	II-A	10.03.94	28.03.94		220.6	
D	1	2	28474	II-R	06.11.04	22.11.04		93.4	
	2	1	37753	II-F	16.07.11	14.10.11		10.8	
	3	21	27704	II-R	31.03.03	12.04.03		112.8	
	4	4	22877	II-A	26.10.93	22.11.93		225.5	
	5	11	25933	II-R	07.10.99	03.01.00		152.2	
E	1	20	26360	II-R	11.05.00	01.06.00		147.1	
	2	22	28129	II-R	21.12.03	12.01.04		103.9	
	3	5	35752	IIR-M	17.08.09	27.08.09		36.4	
	4	18	26690	II-R	30.01.01	15.02.01		138.7	
	5	32	20959	II-A	26.11.90	10.12.90		212.4	
	6	10	23953	II-A	16.07.96	15.08.96		191.9	
F	1	14	26605	II-R	10.11.00	10.12.00		140.9	
	2	15	32260	IIR-M	17.10.07	31.10.07		58.3	
	3	13	24876	II-R	23.07.97	31.01.98		175.1	
	4	23	28361	II-R	23.06.04	09.07.04		97.9	
	5	26	22014	II-A	07.07.92	23.07.92		240.9	

Figura 4 – Status da Constelação dos Satélites do GPS

Os satélites foram construídos em vários blocos, sendo cada bloco com características particulares, incorporando novas mudanças ou desenvolvimento de

equipamentos. Os detalhes de lançamento de cada bloco podem ser observados na figura abaixo.

Summary of satellites

Block	Launch Period	Satellite launches				Currently in orbit and healthy
		Success	Failure	In preparation	Planned	
I	1978–1985	10	1	0	0	0
II	1989–1990	9	0	0	0	0
IIA	1990–1997	19	0	0	0	10
IIR	1997–2004	12	1	0	0	12
IIR-M	2005–2009	8	0	0	0	7
IIF	2010–	2	0	10	0	2
IIIA	2014–	0	0	0	12	0
IIIB	Theoretical	0	0	0	8	0
IIIC	Theoretical	0	0	0	16	0
Total		60	2	10	36	31

(Last update: 24 May 2010)

PRN 01 from Block IIR-M is unhealthy
PRN 25 from Block IIA is unhealthy
PRN 32 from Block IIA is unhealthy

For a more complete list, see *list of GPS satellite launches*

Figura 5 – Sumário da Modernização dos Satélites do GPS

2.1.1.2 Segmento de Controle

Este segmento é constituído por estações distribuídas ao longo da superfície terrestre, com a função de monitorar os satélites, efetuando eventuais correções em suas órbitas e em seus relógios. Existem cinco dessas estações distribuídas pela superfície terrestre: a de Colorado Springs, no oeste dos Estados Unidos; a do Havaí, no Oceano Pacífico; a de Kwajalein, nas ilhas norte-americanas das Carolinas, também no Oceano Pacífico; a da ilha de Ascensão, possessão britânica

no Atlântico Sul; e a da ilha de Diego Garcia, também possessão britânica, no Oceano Índico. A estação de Colorado Springs abriga o centro de operações do sistema, e é chamada de “estação mestra”. No cabo Canaveral, no estado norte-americano da Flórida, fica a estação de lançamento dos satélites. Com essa distribuição, a qualquer instante cada satélite está sendo monitorado por uma estação de controle.

Figura 6 – Estações de controle do GPS

2.1.1.3 Segmento dos Usuários

O segmento dos usuários é a parte do Sistema onde a posição e o tempo são finalmente calculados, isto é, onde todo o Sistema GPS se torna utilizável, através de um receptor. A função básica de um receptor é captar os sinais dos satélites que estiverem disponíveis, ou visíveis, isto é, sem nenhuma obstrução entre eles e o receptor, e com as informações obtidas nesses sinais, calcular a sua posição (latitude, longitude e altitude). Tipicamente, um receptor GPS apresenta uma antena (para a captação dos sinais), circuitos eletrônicos (para tratamento dos sinais), e um

mostrador (para apresentação das coordenadas calculadas). Ele também costuma apresentar um teclado (para a entrada de dados e de comandos), e pode, ainda, oferecer um canal serial (para a saída de dados destinados a outro equipamento eletrônico).

O Sistema GPS disponibiliza dois tipos de serviços: um de posicionamento padrão, para acesso civil (*Standard Positioning Service* – SPS), e outro de posicionamento preciso, para acesso dos militares americanos e usuários autorizados (*Precise Positioning Service* – PPS); porém, os dois seguem os mesmos princípios de funcionamento.

Os receptores de livre comercialização, ou seja, os que fazem o uso do serviço de posicionamento padrão, além dos programas fundamentais para a decodificação e processamento dos sinais GPS, incorporam softwares aplicativos específicos conforme sua aplicação, por exemplo, navegação aérea, agricultura de precisão, navegação marítima, navegação rodoviária, etc. Diferem-se também por suas especificações técnicas, como, por exemplo, numero de canais, ou seja, de satélites que podem processar ao mesmo tempo.

Os primeiros receptores suportavam apenas 4 canais (o número exato necessário para calcular as coordenadas 3D), mas logo surgiram modelos com 5, 6, 8, 12, 16, 20, 32 ou até mesmo 54 canais. O número de canais do receptor determina quantos satélites ele é capaz de monitorar simultaneamente. A maioria dos modelos atuais oferece de 12 a 20 canais, o que é mais do que suficiente, considerando que na maior parte do tempo, apenas 9 ou 10 satélites são visíveis e apenas 4 são necessários para calcular a posição 3D.

Os canais sobressalentes permitem que o receptor monitore o sinal de mais satélites e os utilize para calibrar a posição, melhorando sutilmente a precisão. Entretanto, o limite físico continua sendo o número de satélites visíveis, que atualmente nunca é superior a 12 em nenhuma parte do mundo. Com isso, a partir de 12 canais não faz mais diferença alguma se o receptor suporta 20, 32 ou 500 canais, já que apenas 12 serão usados.

Na aquisição de um receptor deve-se levar em conta outras especificações além dos canais, tais como sensibilidade de recepção, tamanho, peso e autonomia das baterias (se aplicável), software de navegação, tamanho da tela, ergonomia e os mapas disponíveis (no caso dos navegadores), sem falar na questão do preço, que acaba sendo sempre um dos argumentos de venda mais convincentes.

Figura 7 – Modelos de Receptores GPS

2.2 Sistema de Navegação Global por Satélite (GLONASS) (Rússia)

GLONASS (em russo: ГЛОНАСС; Глобальная Навигационная Спутниковая Система; [Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema]; *Sistema de Navegação Global por Satélite*) é o sistema de navegação por satélite russo, operado pela Força de Defesa Aeroespacial da Rússia, equivalente ao GPS, sistema de navegação por satélite estadunidense, e que já está disponível para uso nos aparelhos mais modernos.

O GLONASS complementa e fornece uma alternativa ao GPS; e atualmente é o único sistema de navegação alternativo em operação, com cobertura global e de precisão comparável.

O princípio de funcionamento do sistema é o mesmo do GPS, mas a principal diferença entre os dois sistemas é que no caso do GLONASS não existe uma política para implementação de técnicas de segurança com o objetivo de degradar a acurácia do sinal. No entanto, existe distinção entre os sinais de alta acurácia e o sinal de acurácia padrão, destinados aos usuários autorizados e não autorizados, respectivamente.

Sua vantagem, em comparação ao GPS, é de ser gratuito na resolução máxima, em decímetros. Hoje em dia, os EUA não oferecem isso com o seu GPS, e com o Galileo, europeu, há previsão de cobrança de uma tarifa de precisão após seu início de operação, previsto para 2013.

2.2.1 Características e Composição

GLONASS é um sistema que proporciona posição em tempo real e determinação de velocidade para usuários militares e civis. A órbita dos satélites do GLONASS o torna especialmente adequado para uso em altas latitudes (norte ou sul), onde conseguir um sinal GPS pode ser problemático.

Uma constelação totalmente operacional com cobertura global consiste de 24 satélites, enquanto 18 satélites são necessários para cobrir o território da Rússia. Para obter uma posição fixa, o receptor deve estar no alcance de, pelo menos, quatro satélites, três dos quais serão utilizadas para determinar a localização do usuário e o quarto para sincronizar os relógios do receptor e dos outros três satélites.

O método de cálculo de posicionamento, usando GLONASS, é o mesmo utilizado no GPS, ou seja, é baseada na medição de distâncias aos satélites do sistema, onde um receptor determina a sua distância aos satélites no espaço, com base na medição do intervalo de tempo decorrido entre a transmissão dos sinais pelos satélites e sua recepção a bordo.

As frequências de rádio transmitidas pelos satélites GLONASS estão sujeitas às mesmas interferências que afetam o GPS em sua precisão, como: efeitos ionosféricos e troposféricos, erros de efemérides, erros dos relógios dos satélites, multicaminhamento, erros nos receptores.

Os satélites GLONASS transmitem dois tipos de sinal: um sinal padrão de precisão (Standard Precision – SP), e um sinal ofuscado de alta precisão (High Precision - HP). Esses sinais usam uma codificação e uma modulação similar às usadas em sinais GPS.

Todos os satélites GLONASS transmitem o mesmo código como seu sinal SP, no entanto cada um transmite em uma frequência diferente usando 15 canais de

acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA), técnica abrangendo ambos os lados de 1.602,0 MHz, conhecido como a banda L1. A frequência central é 1,602 MHz + n × 0,5625 MHz, onde n é o número do canal de frequência de um satélite. Note-se que a constelação de 24 satélites é acomodada com apenas 15 canais, usando canais de frequências idênticas para apoiar pares de satélites antipodais (lado oposto do planeta em órbita), uma vez que estes satélites nunca estarão em vista de um usuário com base em terra, ao mesmo tempo.

O sinal HP (L2) é transmitido em quadratura de fase com o sinal SP, compartilhando efetivamente a mesma onda portadora que o sinal SP, mas com uma largura de banda dez vezes maior que a do sinal SP.

Os sinais L2 usam o mesmo acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA) que os sinais de banda L1, mas transmitem em 1,246 MHz com a frequência central determinada pela equação 1,246 MHz + n × 0,4375 MHz, onde n tem o mesmo valor que para L1. Outros detalhes do sinal HP não estão disponíveis.

Com a máxima eficiência, o sinal de SP oferece precisão de posicionamento horizontal dentro de 5-10 metros, posicionamento vertical dentro de 15 metros, um vetor velocidade medindo dentro de 10 cm/s, e tempo dentro de 200 ns, todos com base em medições de quatro satélites de primeira geração simultaneamente, o que será melhorado com o uso de satélites mais recentes, como o GLONASS-M. O sinal HP está disponível somente para usuários autorizados, como os militares russos, e ao contrário do código P(Y) do GPS, o qual é modulado por um código W criptografado, os códigos GLONASS P são transmitidos empregando apenas “segurança pela obscuridade”.

Atualmente, um sinal de referência adicional para civis é transmitido na banda de L2 com um código SP idêntico para o sinal de banda L1. Este está disponível a partir de todos os satélites da constelação atual, exceto do satélite de número 795, que é o último da concepção GLONASS original, e de um parcialmente inoperante satélite GLONASS-M que está a emitir apenas na banda L1.

O GLONASS utiliza um sistema de coordenadas (datum) de nome "PZ-90" (Parametry Zemli 1990), em que a localização exata do Pólo Norte é dada como uma média da sua posição entre os anos de 1900 e 1905. Este está em contraste com o sistema de coordenadas do GPS (WGS 84), o qual utiliza a localização do Pólo Norte em 1984. Em 17 de setembro de 2007, o PZ-90 foi atualizado para diferir do WGS 84 por menos de 40 cm (16 polegadas) em qualquer direção dada.

Os últimos satélites GLONASS-K1 a serem lançados em 2011/2012 irão introduzir um sinal aberto CDMA adicional para fins de teste, localizado na banda L3 em 1202,025 MHz. Os satélites GLONASS-K2 a serem lançados em 2013/2015, irão mudar o sinal de L3 para 1207,14 MHz e adicionar outro sinal aberto CDMA localizado em 1575,42 MHz na banda L1. Subsequentes satélites GLONASS-KM a serem lançados a partir de 2015 contarão com sinais abertos CDMA - um na frequência L1 existente, um a 1242 MHz na banda de L2, e um em 1176,45 MHz na banda L5. Esses GLONASS-KM provavelmente transmitirão sinais CDMA ofuscados nas bandas L1 e L2 existentes.

Com a introdução de sinais CDMA, a constelação será expandida para 30 satélites ativos em 2025.

O GLONASS, assim como o GPS, é constituído por três componentes principais: o segmento espacial (satélites), o segmento de controle (monitoramento e controle) e o segmento dos usuários (receptores GPS e equipamentos associados). Estas também operam em constante interação, proporcionando, simultânea e continuamente, dados de posicionamento (Latitude, Longitude e altitude), rumo, velocidade e tempo (hora), com alta precisão.

2.2.1.1 Segmento Espacial

O GLONASS chegou a ter 18 satélites em órbita, antes de o projeto ser abandonado com o fim da União Soviética. Em 2002 só restavam sete satélites operacionais. Com a dependência cada vez maior do sistema estadunidense, o governo da Rússia decidiu, em 2004, recuperar o sistema.

Atualmente, a "constelação" do GLONASS é composta por 31 satélites, sendo 24 em operação, 02 em manutenção, 04 sobressalentes e 01 em teste. Os satélites em operação estão espalhados equidistantemente em três níveis orbitais quase circulares, com oito satélites em cada, a uma altura de aproximadamente 19.000 Km e inclinação de 64,8º em relação ao Equador. O período orbital é de 11 horas e 15 minutos. Sua cobertura global foi completada em outubro de 2011.

GLONASS constellation status, 08.09.2012

Total satellites in constellation	31 SC
Operational	24 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	2 SC
Spares	4 SC
In flight tests phase	1 SC

GLONASS Constellation Status at 08.09.2012 based on both the almanac analysis and navigation messages received at 21:00 08.09.12 (UTC) in IAC PNT TsNIImash

Orb. slot	Orb. pl.	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
1	1	01	730	14.12.09	30.01.10		32.8	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
2	1	-4	728	25.12.08	20.01.09		44.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
3	1	05	744	04.11.11	08.12.11		10.2	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
4	1	06	742	02.10.11	25.10.11		11.2	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
5	1	01	734	14.12.09	10.01.10		32.8	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
6	1	-4	733	14.12.09	24.01.10		32.8	+	+ 20:00 08.09.12	In operation
7	1	05	745	04.11.11	18.12.11		10.2	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
8	1	06	729	25.12.08	12.02.09		44.5	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
9	2	-2	736	02.09.10	04.10.10		24.2	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
10	2	-7	717	25.12.06	03.04.07		68.5	+	+ 21:14 08.09.12	In operation
11	2	00	723	25.12.07	22.01.08		56.5	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
12	2	-1	737	02.09.10	12.10.10		24.2	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
13	2	-2	721	25.12.07	08.02.08		56.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
14	2	-7	715	25.12.06	03.04.07		68.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
15	2	00	716	25.12.06	12.10.07		68.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
16	2	-1	738	02.09.10	11.10.10		24.2	+	+ 21:00 08.09.12	In operation
17	3	04	746	28.11.11	23.12.11		9.4	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
18	3	-3	724	25.09.08	26.10.08		47.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
19	3	03	720	26.10.07	25.11.07		58.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
20	3	02	719	26.10.07	27.11.07		58.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
21	3	04	725	25.09.08	05.11.08		47.5	+	+ 19:59 08.09.12	In operation
22	3	-3	731	02.03.10	28.03.10		30.3	+	+ 20:15 08.09.12	In operation
23	3	03	732	02.03.10	28.03.10		30.3	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
24	3	02	735	02.03.10	28.03.10		30.3	+	+ 21:15 08.09.12	In operation
21	3	-5	701	26.02.11			18.4			Flight Tests
2	1		743	04.11.11			10.2			Spares
14	2		722	25.12.07	25.01.08	12.10.11	56.5			Spares
7	1		712	26.12.04	07.10.05	14.12.11	92.5			Spares
17	3		714	25.12.05	31.08.06	19.12.11	80.5			Spares
3	1		727	25.12.08	17.01.09	08.09.10	44.5			Maintenance
22	3		726	25.09.08	13.11.08	31.08.09	47.5			Maintenance

Figura 8 – Status da Constelação dos Satélites do GLONASS

Com a restauração completa do sistema, o GLONASS tornou-se um sistema alternativo ao GPS estadunidense, o que é de grande importância, pois o governo

dos EUA, como aconteceu nas operações militares no Iraque, pode desativar o acesso para o uso civil quando for do interesse de seu governo.

O projeto dos satélites GLONASS sofreu diversos melhoramentos, e pode ser dividido em três gerações: o GLONASS original (desde 1982), o GLONASS-M (desde 2003) e o GLONASS-K1 (desde 2011); cada um com características particulares, incorporando novas mudanças ou desenvolvimento de equipamentos. Estão em fase de desenvolvimento os novos satélites GLONASS-K2 (previsto para 2013), e em fase de pesquisa os satélites GLONASS KM (previstos para 2015).

Roadmap of GLONASS modernization

Satellite series	Launch	Current status	1602 + n×0.5625 MHz (L1, FDMA)	1575.42 MHz (L1, CDMA)	1246 + n×0.4375 MHz (L2, FDMA)	1242 MHz (L2, CDMA)	1207.14 MHz (L3, CDMA)	1176.45 MHz (L5, CDMA)	Clock error
GLONASS	1982	Out of service	L1OF, L1SF		L2SF				5×10^{-13}
GLONASS-M	2003	In service	L1OF, L1SF		L2OF, L2SF				1×10^{-13}
GLONASS-K1	2011	In service	L1OF, L1SF		L2OF, L2SF		L3OC †		5×10^{-14}-1×10^{-13}
GLONASS-K2	2013	Design phase	L1OF, L1SF	L1OC, L1SC	L2OF, L2SF	L2SC	L3OC		5×10^{-14}
GLONASS-KM	2015	Research phase	L1OF, L1SF	L1OC, L1OCM, L1SC	L2OF, L2SF	L2OC, L2SC	L3OC	L5OC	

"O": open signal (standard precision), "S": obfuscated signal (high precision); "F":FDMA , "C":CDMA; n=−7,−6,−5,...,6

†Glonass-K1 series use 1202.025 MHz for the L3OC signal

Figura 9 – Sumário da Modernização dos Satélites do GLONASS

2.2.1.2 Segmento de Controle

Este segmento é constituído por estações com a mesma função das estações do GPS, ou seja, monitorar os satélites, efetuando eventuais correções em suas órbitas e em seus relógios. Existem cinco estações, as quais estão distribuídas dentro do território correspondente à antiga União Soviética. A Estação de Controle Central fica em Moscou, na Rússia. As demais estações são a de São Petersburgo, a de Eniseisk, e a de Komsomdsk-na-Amure na Rússia; e a de Ternopol, no oeste

da Ucrânia. A estas estações compete o rastreamento dos satélites e execução de telemetria. Os satélites do GLONASS são lançados dos Centros Espaciais de Plesetsk, na Rússia; e Baikonur, no Cazaquistão.

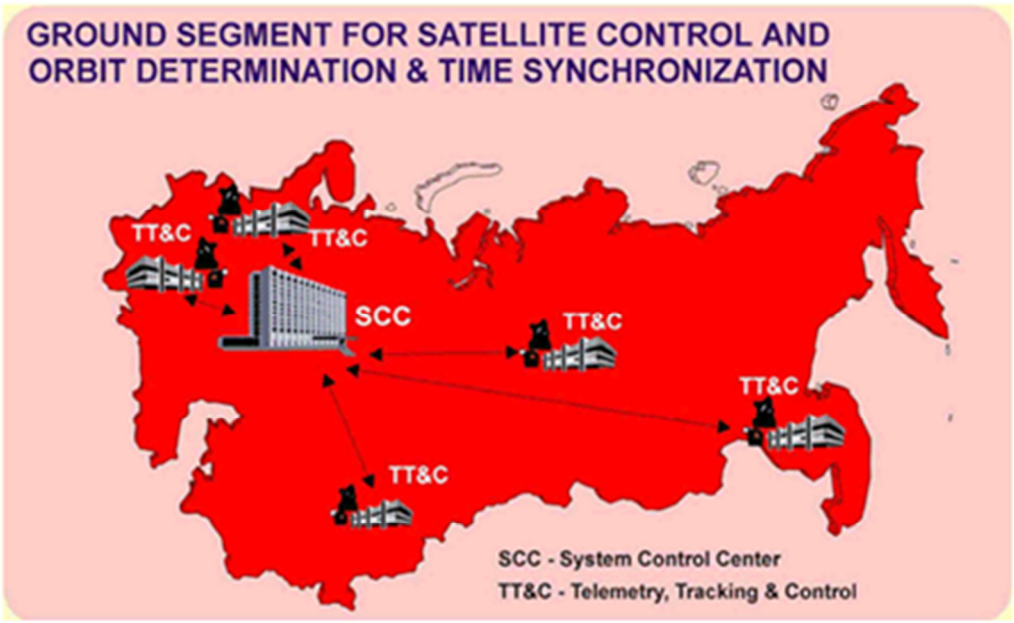

Figura 10 – Estações de controle do GLONASS

2.2.1.3 Segmento dos Usuários

Embora a constelação GLONASS tenha atingido uma cobertura global, a sua comercialização, especialmente para o segmento dos usuários, tem sido falha em comparação com o sistema GPS. Como exemplo, pode-se citar que o primeiro dispositivo de navegação GLONASS para carros, de fabricação russa, o Glospace SGK-70, foi introduzido somente em 2007, mas era muito maior e mais caro do que os receptores de GPS semelhantes. No final de 2010, havia apenas um punhado de receptores GLONASS no mercado, e apenas alguns deles haviam sido feitos para os consumidores comuns. Para melhorar a situação, o Governo Russo tem promovido ativamente o GLONASS para uso civil.

Para melhorar o desenvolvimento do segmento dos usuários, em 11 de Agosto de 2010, o Governo Russo anunciou um plano para introduzir um acréscimo no imposto de importação de 25% sobre todos os dispositivos GPS, incluindo telefones móveis, a menos que eles fossem compatíveis com o GLONASS. O

Governo Russo também tem obrigado todos os fabricantes de automóveis na Rússia, incluindo marcas estrangeiras, a fabricar seus carros com GLONASS desde o início de 2012.

Atualmente, alguns aparelhos telefônicos fabricados por grandes empresas como Ericsson, Broadcom e Qualcomm; operam com o GLONASS em combinação com o GPS.

Smartphones e Tablets também tiveram a implementação do GLONASS em 2011, com dispositivos lançados por empresas como Sony Ericsson, Samsung e Apple.

CAPÍTULO 3

3. Métodos de Posicionamento por Satélite

Posicionamento é a determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Quando o objeto posicionado encontra-se em repouso, tem-se o posicionamento estático. Já o posicionamento cinemático refere-se a objetos em movimento. Em se tratando de posicionamento por satélites, têm-se os seguintes métodos de posicionamento:

a) Posicionamento Absoluto (estático ou cinemático);

b) Posicionamento Relativo (estático ou cinemático); e

c) Posicionamento Diferencial.

3.1 Posicionamento Absoluto

Também chamado “Posicionamento por Ponto”, é a situação mais simples de cálculo da posição de um único receptor. É amplamente empregado em navegação, onde não seja necessária uma grande precisão. No método absoluto ou posicionamento por ponto, a posição é vinculada ao sistema de referência associado ao Sistema de Posicionamento, e calculada através de efemérides transmitidas, com observação da fase do código de no mínimo quatro satélites. O receptor obtém sua posição em duas dimensões (latitude e longitude), processando as pseudodistâncias de, no mínimo, 03 satélites. Para um posicionamento em três dimensões (incluindo altitude), é necessária a inclusão de um quarto satélite. No posicionamento bidimensional, o usuário deve informar ao seu receptor a elevação da antena acima do nível médio de referência (que pode ser o nível do ar). Essa informação influi na exatidão final do posicionamento bidimensional, que deve ser a mais precisa possível. Alguns receptores oferecem a opção de posicionamento 2D e 3D, com seleção pelo usuário. Outros permitem que o receptor escolha o modo automaticamente, com base na quantidade de satélites disponíveis, na qualidade de

seus sinais e na sua localização no espaço. Essa opção é sempre preferível, em vez de o usuário estabelecer a elevação de sua antena. Deve-se consultar o manual que acompanha o aparelho, a fim de se determinar o comportamento nos modos 2D e 3D, e o que deve fazer quanto à elevação da antena. Para converter as medições de pseudodistância em posição geográfica, o GPS usa um sistema de referência, que é o Datum WGS-84. Caso esteja se obtendo posições a partir de satélites GLONASS, o sistema de referência será o PZ90. Os usuários devem verificar que, para plotar suas posições em diversas cartas, deverão converter a posição obtida para o Datum da carta. Em algumas das cartas náuticas brasileiras cujo Datum horizontal ainda é Córrego Alegre1, se já não estiver incorporada na memória do receptor, esta conversão deverá ser introduzida em um procedimento próprio do aparelho ou, se este não o permitir, ser calculada com as correções informadas nas cartas. Se o usuário estiver usando cartas terrestres brasileiras, deverá preferir a conversão para o Datum SAD-69, ou SIRGAS2000, novo Sistema Geodésico Brasileiro, adotado pelo IBGE, desde 2005.

3.2 Posicionamento Relativo

A realização do posicionamento relativo pressupõe a existência de, pelo menos, dois receptores de posicionamento, onde um destes servirá de referência para o cálculo das coordenadas do outro. A linha imaginária direta que une os dois receptores é denominada linha de base. Normalmente este método de posicionamento é empregado em aplicações que requeiram grandes precisões, tais como levantamentos hidrográficos de ordem especial, ou trabalhos geodésicos. O conceito fundamental do posicionamento relativo é que ambos os receptores rastreiem, pelo menos, dois satélites em comum. Isto ocorre devido ao algoritmo empregado para o cálculo das posições, além disso, a simultaneidade de observações contribui para a eliminação de muitos erros, que tenham o mesmo comportamento em ambas as estações. Dependendo do método de aquisição das observações, em função da necessidade do usuário, o posicionamento relativo poderá ser denominado:

a) Relativo Estático: normalmente associado a aplicações que requeiram alta precisão, permitindo o emprego de longas linhas de base;

b) Relativo Estático Rápido: segue o mesmo princípio do posicionamento estático, porém os tempos de rastreio são mais curtos. Destinam-se a aplicações topográficas que requeiram alta produtividade, tais como coleta de pontos de apoio a atividades de Fotogrametria ou Sensoriamento Remoto;

c) Relativo Cinemático: nas técnicas anteriores, ambos os receptores permaneciam estáticos, permitindo o cálculo de uma determinada coordenada. No posicionamento relativo cinemático, um dos receptores permanece estático (base ou referência), enquanto o outro receptor (móvel) se desloca, coletando observações que permitirão o cálculo de sua trajetória. As coordenadas desta trajetória poderão ser pós-processadas, ou seja, calculadas após a coleta das observações, ou obtidas em tempo real, configurando o método conhecido como RTK (Real Time Kinematic).

3.3 Posicionamento Diferencial

O princípio básico do método diferencial consiste no posicionamento em tempo real de uma estação móvel, por meio de correções diferenciais de pseudodistâncias (PRC – Pseudorange Corrections), geradas por uma estação de referência. Estas correções são obtidas a partir de observações dos sinais de satélites, coletadas por uma estação de referência, de coordenadas bem definidas. As PRC são específicas para cada satélite, e os receptores móveis aplicam estas correções aos seus valores de pseudodistâncias observados. Assim, caso algum satélite observado pelo receptor móvel não esteja presente na mesma constelação da estação de referência, não haverá correções disponíveis para este satélite. Esta estratégia de aplicação das correções diferenciais é preferível em relação à aplicação de correções diretamente sobre a posição calculada do receptor móvel, uma vez que, caso as constelações de satélite da estação de referência e do receptor móvel sejam muito distintas, o erro introduzido pelas correções serão mínimos. A aplicação das correções diferenciais ocorre nos receptores dos usuários, corrigindo suas pseudodistâncias observadas. Para compensar o tempo decorrido entre a geração da correção PRC e sua aplicação efetiva no receptor do usuário, a

estação de referência transmite também uma taxa de atualização das PRC, denominada RRC (Range Rate Correction). Assim a PRC para o usuário será dada por:

PRC(t) = PRC (t0) + RRC (t-t0)

Onde t representa o instante de aplicação da correção diferencial pelo usuário, e t0 o instante da sua geração na estação de referência. A diferença entre t e t0 é denominada idade (age) ou latência das correções diferenciais.

Os principais erros minimizados com a aplicação do método diferencial são:

– erros nos dados orbitais (efemérides);

– erros nos relógios dos satélites;

– erros devidos à propagação ionosférica;

– erros devidos à propagação troposférica;

– erros introduzidos pela disponibilidade seletiva.

A exatidão da posição final do usuário é limitada pelos erros não eliminados pelo processo diferencial, tais como aqueles associados aos receptores móveis (ruídos internos, interferências entre os canais de recepção e multicaminhamento), e as próprias incertezas observadas nas estações de referência. Os principais problemas decorrem das configurações diferentes de satélites com respeito aos dois receptores envolvidos (usuário e referência). Este fenômeno é passível de ocorrer em distâncias próximas do limite nominal de alcance de transmissão das estações de referência, ou seja, aproximadamente 200 milhas. Todavia, alguns receptores informam a lista dos satélites que a estação de referência está enviando correções, e normalmente o usuário pode selecionar os satélites que deseja utilizar. Recomenda-se uma avaliação criteriosa destes dados, principalmente se a navegação está sendo feita no limite de alcance da estação de referência. Fenômenos atmosféricos, percebidos em uma das estações (referência ou móvel), constituirão numa fonte de erros. No Brasil esta técnica tem sido empregada a partir de uma rede de estações de referência baseadas em radiofaróis, que transmitem correções diferenciais através dos sistemas de radio navegação, com o propósito de melhorar a acurácia da navegação marítima em portos e canais de acesso. Outras atividades como levantamentos hidrográficos e serviços de sinalização náutica têm tirado proveito destas estações para posicionamento horizontal. O pequeno volume de dados transmitidos pelas estações de referência (mensagens RTCM) permite o

uso de baixas taxas de transmissão (100 bps), menor largura de banda, possibilitando um maior alcance, através do emprego de frequências das faixas LF e MF. A qualidade das posições diferenciais depende do grau de correlação espacial entre a estação de referência e o receptor móvel, ou seja, à medida que se aumenta a distância entre ambas, a operação de diferenciação não permite uma compensação completa dos erros troposféricos e ionosféricos no receptor móvel. A latência das correções diferenciais também influencia diretamente na qualidade do posicionamento diferencial.

CAPÍTULO 4

4. Novas Tecnologias de Posicionamento Global por Satélites

4.1 GALILEO (União Européia)

O programa GALILEO é uma iniciativa da União Européia para um sistema de navegação global por satélite, proporcionando um serviço de posicionamento global de alta precisão, sob controle civil.

O sistema, quando totalmente implantado, será composto por 30 satélites (27 operacionais + 3 sobressalentes ativos), posicionados em três órbitas circulares planas de órbita terrestre média (MEO) a 23,222 km de altitude acima da Terra, e com uma inclinação dos planos orbitais de 56 graus em relação ao Equador. Dez satélites ocuparão cada um dos três planos orbitais, onde serão distribuídos uniformemente ao redor de cada plano orbital e cada um vai demorar cerca de 14 horas para dar a volta completa na Terra. Um satélite de cada plano será um sobressalente, em stand-by, se algum satélite operacional falhar.

É importante ressaltar que o GALILEO será inter-operável com os dois outros sistemas de navegação global por satélite existentes, o GPS e o GLONASS.

A missão e os serviços do programa GALILEO foram definidos durante a fase inicial, em consulta com as comunidades de usuários e os Estados-Membros.

Três serviços serão inicialmente prestados a partir de 2014:

- O Serviço Aberto: sinal GALILEO aberto e livre de taxa de utilização,

- O Serviço Público Regulado: um serviço especial de navegação GALILEO usando sinais codificados criados para uma melhor gestão dos serviços essenciais de transporte e de emergência, melhor aplicação da lei, melhor controle de fronteira e missões de paz mais seguras,

- Serviço de Busca e Salvamento: uma contribuição da Europa para o COSPAS-SARSAT, um sistema satélite internacional de busca, salvamento e de detecção de alerta de emergência.

Dois outros serviços serão testados a partir de 2014 e serão fornecidos quando o sistema atingir plena capacidade operacional com os 30 satélites:

- O Serviço de Segurança da Vida, que melhora o desempenho do serviço aberto,

- O Serviço Comercial que dá acesso a dois outros sinais codificados.

A fase de definição e desenvolvimento e a fase de validação em órbita (IOV) do programa GALILEO foram realizadas pela Agência Espacial Européia (ESA) e cofinanciadas pela ESA e pela União Européia.

A fase IOV consiste em qualificar o sistema através de testes e de operação de dois satélites experimentais e uma constelação reduzida de quatro satélites operacionais e sua infraestrutura terrestre relacionada. Os dois satélites experimentais foram lançados em dezembro de 2005 e abril de 2008, respectivamente. Seu propósito era e é caracterizar o ambiente da órbita terrestre média (radiações, campo magnético, etc) e para testar naquele ambiente o desempenho da tecnologia de carga crítica (tecnologia dos relógios atômicos digitais). Eles também fornecem um início experimental do sinal no espaço, reservando frequências de rádio para o GALILEO pela União Internacional de Telecomunicações (ITU) e testando tecnologias chaves do GALILEO. Os dois primeiros satélites operacionais foram lançados em 21 de Outubro de 2011. O lançamento do terceiro e quarto satélites operacionais está previsto para o segundo semestre de 2012. Os satélites do GALILEO estão sendo lançados da Centro Espacial Europeu de Kourou, na Guiana Francesa.

Satellite	Name	Date	Launch Vehicle
Galileo-IOV PFM	Thijs ( )	21.10.2011	Soyuz-2-1b Fregat-MT
Galileo-IOV FM2	Natalia ( )	21.10.2011	Soyuz-2-1b Fregat-MT
Galileo-IOV FM3	David ( )	10.10.2012	Soyuz-2-1b Fregat-MT
Galileo-IOV FM4	Sif ( )	10.10.2012	Soyuz-2-1b Fregat-MT
Galileo-IOV PFM, FM2, FM3, FM4			

Figura 11 – Status da Constelação dos Satélites do GALILEO

A fase de plena capacidade operacional do programa consiste na implantação do restante da infraestrutura terrestre e espacial. Esta inclui uma fase intermediária de capacidade operacional inicial com 18 satélites em operação (os quatro satélites IOV, mais 14 outros). O sistema completo será composto pelos 30 satélites, centros

de controle localizados na Europa e uma rede de estações de sensores e estações de uplink instalados ao redor do globo. Esta fase é totalmente financiada pela União Européia e é gerenciada pela Comissão Européia. A Comissão e a ESA assinaram um acordo de delegação pelo qual a ESA atua como agente de design e compras em nome da Comissão.

A infraestrutura completa do GALILEO será composta por:

- Uma constelação de 30 satélites em órbita terrestre média (MEO).
- 30 a 40 estações de sensores;
- 03 centros de controle;
- 09 estações de missão uplink;
- 05 estações de telemetria, rastreamento e comando (TT&C).

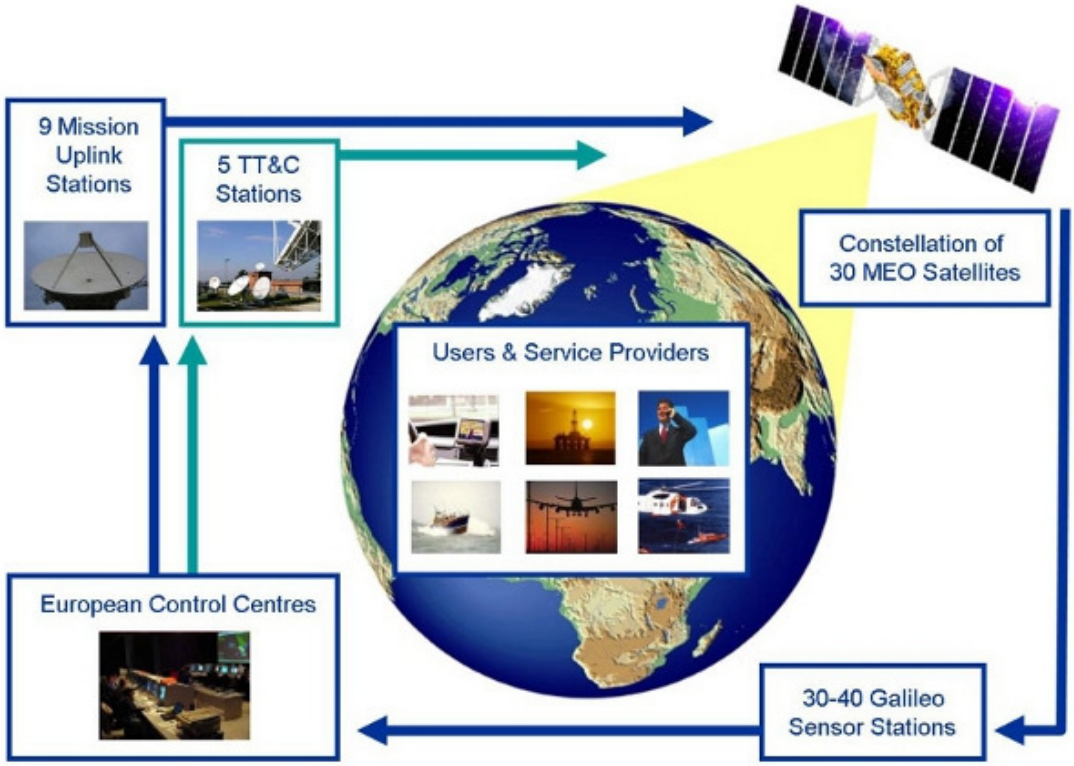

Figura 12 – Componentes do Sistema GALILEO

O Sistema GALILEO terá como principais características o seguinte:

• Precisão: Conforme citado anteriormente, o GALILEO poderá operar em conjunto com o GPS e o GLONASS. Com esse uso combinado, o maior número de satélites disponíveis para o usuário irá oferecer maior precisão. Da maioria das localidades, 6-8 satélites GALILEO serão visíveis, os quais, em combinação com os

sinais do GPS ou do GLONASS, irão permitir que as posições sejão determinadas com erro de poucos centímetros. Por si só, Ao oferecer duas frequências como padrão, o GALILEO vai fornecer uma precisão de posicionamento na faixa de 01 metro. Isso irá garantir a disponibilidade do serviço nas circunstâncias mais extremas e irá informar aos usuários, dentro de segundos, qualquer falha de satélite, tornando-o adequado para as aplicações de segurança crítica, como orientador de carros, a circulação de trens e o pouso de aviões.

• Disponibilidade: O elevado número de satélites também vai melhorar a disponibilidade dos sinais em cidades de arranha-céus, onde os edifícios podem obstruir sinais de satélites que são baixos no horizonte.

• Cobertura: Planejadores e engenheiros da ESA tiveram boas razões para a escolha desta estrutura para a constelação do GALILEO. Com 30 satélites em tal altitude, há uma probabilidade muito elevada (superior a 90%) de que qualquer um, em qualquer lugar do mundo, estará sempre em vista de, pelo menos, quatro satélites e, portanto, será capaz de determinar a sua posição a partir dos sinais que vão ser transmitidos pelos satélites. A inclinação das órbitas foi escolhida para assegurar uma boa cobertura de latitudes polares, que são mal servidos pelo sistema GPS. Isto será particularmente interessante para o Norte da Europa.

4.2 COMPASS (China)

O Sistema de Navegação Satélite Compass (Compass Navigation Satellite System - CNSS), também conhecido como Beidou-2, está sendo construído para fornecer serviços de posicionamento e mensagens para aplicações militares e civis. Éste é o quarto de seu tipo no mundo, depois do Sistema de Posicionamento Global (GPS) dos EUA, do GLONASS da Rússia e do Galileo da União Européia. O programa foi aprovado pelo governo chinês em 2004. O sistema foi ativado em caráter experimental em 27 de Dezembro de 2011, e oferecerá inicialmente posicionamento de alta precisão e serviços de navegação para a região Asiática do Pacífico em 2014. Esta será, então, expandida para uma cobertura global até 2020.

O sistema de navegação Beidou é o nome da constelação Ursa Maior, que é conhecido em chinês como Běidǒu. O nome significa literalmente “Ursa do Norte”, o nome dado pelos astrônomos chineses para as sete estrelas mais brilhantes da

constelação de Ursa Maior ou “o Grande Urso”. Historicamente, este conjunto de estrelas foi utilizado na navegação para localizar a Estrela do Norte Polaris. Como tal, Beidou também serve como uma metáfora para a finalidade do sistema de navegação por satélite.

De acordo com a Administração Espacial Nacional da China, o desenvolvimento do sistema de navegação chinês global será realizado em três etapas:

1 – 2000/2003: Sistema de navegação experimental Beidou composto de 03 satélites;

2 – em 2012: Sistema de navegação regional Beidou atinge a cobertura total da China e regiões vizinhas;

3 – em 2020: Sistema de navegação Beidou se torna global.

O CNSS consiste de satélites colocados em uma órbita geoestacionária, inclinada (55 °), uma órbita geosincronizada (IGSO), e uma órbita terrestre média circular de 21,500 km (MEO). O primeiro satélite, Compass-M1, foi lançado em 2007, seguido pelo Compass-G2 em 2009. Cinco mais satélites foram lançados em 2010, quatro em 2011 e cinco satélites foram programados para serem lançados em 2012. O Satélite Compass-IGSO3 lançado em abril de 2011 permitiu que o sistema começasse a fornecer serviço de posicionamento regional abrangendo a China e os países vizinhos, e a rede vai se tornar totalmente funcional com o lançamento do último satélite em 2012.

Os CNSS pode fornecer dois tipos de serviços: um serviço gratuito para os usuários civis com precisão de posicionamento dentro de 10 metros no centro da China (ou 20 metros em países vizinhos), precisão de velocidade dentro de 0,2 m/s e precisão de tempo de até 50 nanossegundos na forma simples de modo de trabalho (ou dentro de 02 nanossegundos na forma dupla de modo de trabalho). Um serviço licenciado com maior precisão será oferecido a usuários autorizados e militares. O sistema também manteve o serviço de mensagens de texto originados a partir do sistema Beidou 1.

Beidou-2 não é uma extensão do existente Beidou-1, mas foi elaborado para substituí-lo. Na segunda fase do programa, o novo sistema será uma constelação de 35 satélites, que incluem cinco satélites em órbita geoestacionária (GEO) e 30 satélites em órbita terrestre média (MEO), que irá oferecer uma cobertura completa

do globo em 2020. A rede será capaz de fornecer uma precisão de posicionamento de 5 metros em posição 2D (ou 8 metros de precisão em posição 3D) para usuários globais, com maior segurança e capacidade de mensagens de texto.

As séries de sinais são baseadas no princípio CDMA e têm uma estrutura complexa típica do Galileo ou do modernizado GPS. Semelhante aos outros sistemas de navegação globais por satélite haverá dois níveis de serviço de posicionamento: aberta e restrita (militares). O serviço público deve estar disponível globalmente para usuários em geral. Quando todos os sistemas de navegação globais por satélite atualmente previstos estiverem implantados, os utilizadores irão se beneficiar com a utilização de uma constelação total de mais de 125 satélites, o que irá melhorar significativamente, todos os elementos de posicionamento, especialmente a disponibilidade dos sinais.

Date	Launcher	Satellite	Orbit	Usable	System
10/31/2000	LM-3A	BeiDou-1A	GEO 59°E	?	BeiDou-1
12/21/2000	LM-3A	BeiDou-1B	GEO 80°E	Yes	
5/25/2003	LM-3A	BeiDou-1C	GEO 110.5°E	Yes	
2/3/2007	LM-3A	BeiDou-1D	supersync orbit[46]	No	
4/14/2007	LM-3A	Compass-M1	MEO ~21,500 km	Testing only	BeiDou-2 (Compass)
4/15/2009	LM-3C	Compass-G2	Drifting[citation needed]	No[citation needed]	
1/17/2010	LM-3C	Compass-G1	GEO 144.5°E [12]	Yes	
6/2/2010	LM-3C	Compass-G3[47]	GEO 84°E	Yes	
8/1/2010	LM-3A	Compass-IGSO1	118°E incl 55°[48]	Yes	
11/1/2010	LM-3C	Compass-G4	GEO 160°E	Yes	
12/18/2010	LM-3A	Compass-IGSO2[49]	118°E incl 55°	Yes	
04/10/2011	LM-3A	Compass-IGSO3[50]	118°E incl 55°, 200~35,991 km	Yes	
07/26/2011	LM-3A	Compass-IGSO4[51]	35695 x 35865 km incl 55.2 deg long: 80 to 112 deg E[52]	Yes	
12/02/2011	LM-3A	Compass-IGSO5	35712 x 35873 km incl 55.2 deg long: 79 to 110 deg E[53]	Yes	
02/24/2012	LM-3C	Compass-G5		Yes	
04/29/2012	LM-3B	Compass-M3		Yes	
04/29/2012	LM-3B	Compass-M4		Yes	

Figura 13 – Lista de Satélites Lançados do COMPASS

CONCLUSÃO

Com a demanda cada vez maior pelo uso dos sistemas de satélite para se determinar pontos de localização geográfica no globo terrestre, seja para fins civis ou militares, fez-se a necessidade de algumas das maiores potências do planeta iniciarem uma corrida pela sua emancipação tecnológica, no que diz respeito a sistema de posicionamento por satélites.

Como o primeiro sistema a ser desenvolvido foi o dos EUA (GPS), possivelmente por questões financeiras e tecnológicas, e sendo este o que mais evoluiu desde sua criação até os dias atuais, aliado ao fato de que o sistema concorrente do GPS, o russo GLONASS, foi praticamente abandonado após a queda da antiga União Soviética, o que tornou o GPS o único sistema disponível para uso global, criou-se uma dependência muito grande desse sistema, e da complacência do governo estadunidense em compartilhar do mesmo com as outras nações do mundo. Complacência essa, que pode ser revogada a qualquer instante, como se pôde observar durante a Guerra do Golfo.

Devido à criticidade de várias operações que dependem do uso de um sistema de posicionamento por satélites, das questões de soberania de uma potência mundial e da dependência que se criou do sistema estadunidense, algumas as maiores potências da atualidade resolveram retomar seu projeto, como a Rússia (GLONASS), ou iniciar o seu próprio sistema, como União Européia (GALILEO) e China (COMPASS ou BeiDou II).

No Caso da Rússia, apesar de ter sido necessário um alto investimento para a reformulação e renovação de seu sistema, pode-se dizer que o processo foi menos complicado, uma vez que os russos já dispunham da tecnologia necessária para fazê-lo.

No caso da União Européia e da China, o processo de desenvolvimento de seus sistemas vem acontecendo gradativamente, conforme o passo a passo evolutivo necessário. Nesse aspecto a China saiu na frente, uma vez que já era detentora de um sistema regional de posicionamento por satélites (BeiDou I).

Com essa busca pelo desenvolvimento de sistemas de posicionamentos globais por satélites, alternativos ao GPS, essas nações pretendem quebrar essa dependência do governo estadunidense, de modo que elas possam garantir a

continuidade de operações críticas em seu território, e acima de tudo garantir a soberania de seus governos em questões militares.

O que essas nações ganham também é o lucro gerado pela comercialização de seus sinais, pois abrem uma livre concorrência de mercado, em se tratando de posicionamento por satélites.

Com isso tudo, os usuários de todo o mundo obtém a possibilidade de no futuro poderem optar pelo sistema que melhor se adequar às suas necessidades.

Por fim, toda a humanidade lucra com essa concorrência, pois essa busca por tecnologia provoca a evolução de diversos setores da sociedade, como aeroespacial, transportes, vigilância, meio ambiente, entre diversos outros.

Assim, pode-se concluir que, o “pequeno passo para um homem” poderá finalmente estar se tornando um “grande salto para a humanidade”[1].

[1] “Um pequeno passo para um homem, um grande salto para a humanidade” - Neil Armstrong, em 1969, ao dar o primeiro passo na lua.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLITZKOW, Denizar. **Navstar/GPS: um desafio tornado realidade**. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, V. 3. Anais. São Paulo, 1995.

- COMPASS. Disponível em:
< http://en.wikipedia.org/wiki/Beidou_navigation_system >. Acesso em: Setembro de 2012.

- GALILEO. Disponível em:
< http://www.esa.int/esaNA/galileo.html >. Acesso em: Setembro de 2012.
< http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_positioning_system >. Acesso em: Setembro de 2012.

- GLONASS. Disponível em:
< http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/ >. Acesso em: Agosto de 2012.
< http://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS >. Acesso em: Agosto de 2012.

- GPS. Disponível em:
< http://www.gps.gov >. Acesso em: Agosto de 2012.
< http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System >. Acesso em: Agosto de 2012.

- LETHAM, Lawrence; LETHAM, Alex. **GPS Made easy: using global positioning systems in the outdoors**. 5ª ed. Seattle, EUA: The Mountaineers Books, 1996.

- LOGSDON, Tom. **The NAVSTAR Global Positioning System.** 1ª ed. Nova Iorque, EUA: Springer, 1992.

- MIGUENS, Altineu Pires. **Navegação: a Ciência e a Arte, Volume III – Navegação Eletrônica e em Condições Especiais**. Brasília: DHN, 2000.