

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CIAGA
DEPARTAMENTO DE ENSINO DE NAUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE NAUTICA (APNT)**



**UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFERENCIA, TAIS COMO:
GPS, DGPS/SINAIS DE RADIO E HIDROACUSTICO,
EM SONDAS DE PERFURAÇÃO DE POSICIONAMENTO DINÂMICO**

Santiago Pier Silva Benitez

**Rio de Janeiro
2011**

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
DEPARTAMENTO DE ENSINO DE NAUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE NAUTICA



UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFERENCIA, TAIS COMO:
GPS, DGPS / SINAIS DE RADIO E HIDROACUSTICO,
EM SONDAS DE PERFURAÇÃO DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Monografia apresentada à banca examinadora, aprovada pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como requisito para a pos-graduacao no curso de Aperfeicoamento para Oficial de Nautica (APNT), na categoria de Capitão-de- Cabotagem.

Por: Santiago Pier Silva Benitez

Orientador: 1Ten RM2T Eliana V. Braga

Rio de Janeiro

2011

SANTIAGO PIER SILVA BENITEZ

UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFERENCIA, TAIS COMO:
GPS, DGPS / SINAIS DE RADIO E HIDROACÚSTICO,
EM SONDAS DE PERFURAÇÃO DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Monografia apresentada à banca examinadora, aprovada pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como requisito para a pós-graduação no curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Náutica (APNT), na categoria de Capitão-de-Cabotagem.

Aprovado pela Banca Examinadora em _____ de outubro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: 1Ten RM2T Eliana Velasco Braga

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que apesar da distancia sempre estão presentes e dando-me todo o apoio. E que através da força do exemplo, me orientaram e educaram para conduzir a vida com ética, respeito e determinação.

A minha esposa , amiga e cúmplice Elaine, que sem a sua ajuda não seria possível concluir mais uma etapa e dar inicio a uma nova fase, que junto com meus filhos Thiago e Elorah superam me acompanhar nessas mudanças da vida.

A Órion pela amizade e fidelidade incondicionais.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por abençoar a mim e a toda a minha família, e por manter acesa a luz, que dia-a-dia guia meu caminho na árdua tarefa de conquistar degrau por degrau para alcançar meus objetivos.

Agradeço aos amigos Carlos Minguta e Tete Gomes pelo apoio e acolhida durante desenvolvimento deste projeto.

Agradeço aos professores palestrantes e colegas da turma de 2011 do curso de Capitães-de-Cabotagem do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Ao Comando deste Centro de Instrução, Departamento de Ensino de Náutica, Orientação Pedagógica, Coordenadores de Cursos, Bibliotecárias, Divisão de Inscrição e Protocolos, Serviços Gerais, a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste curso.

“No entanto o capitão manda a manobra,
E após fitando o céu que se desdobra,
Tão puro sobre o mar,
Diz do fumo entre os densos nevoeiros:
"Vibrai rijo o chicote, marinheiros!
Fazei-os mais dançar!..."

Castro Alves

RESUMO

SISTEMAS DE REFERÊNCIA, TAIS COMO: GPS, DGPS / SINAIS DE RÁDIO E HIDROACÚSTICO, UTILIZADOS EM SONDAS DE PERFURAÇÃO DE POSICIONAMENTO DINÂMICO.

A indústria brasileira de petróleo tem como característica o grande esforço exploratório Offshore, já que os maiores reservatórios do país encontram-se no mar. É cada vez mais comum no Brasil o uso e desenvolvimento de tecnologias onerosas para perfuração de poços em águas profundas e ultraprofundas, o que exige grandes investimentos na etapa de perfuração, chegando à ordem de dezenas de milhões de dólares. Com o crescimento do número de estruturas atuando na área *offshore*, a necessidade de se desenvolver e modernizar sistemas que permitam a exploração de petróleo em águas profundas de forma mais eficiente e segura, vem representando grandes investimentos nos sistemas de posicionamento dinâmico (DP – *Dynamic Positioning*). O posicionamento dinâmico é um sistema que controla automaticamente a posição e o aproamento de uma embarcação por meio de propulsão ativa (*BRAY, 1998; FOSSEN, 1994*). Os sistemas de propulsão utilizados devem possuir especificações especiais, que possam diferenciá-los dos propulsores comumente utilizados em navegação. Esse trabalho pretende demonstrar a importância dos sistemas de referência utilizados em sondas de perfuração de poços de petróleo, e detalhar suas principais características que os faz essenciais para a manutenção da posição desejada, proa desejada, direção e velocidade da sonda durante a operação de perfuração de poços.

ABSTRACT

REFERENCE SYSTEMS, SUCH AS: GPS, DGPS / RADIO SIGNALS AND HYDROACOUSTIC, USED DRILLING RIGS IN DYNAMIC POSITIONING

The Brazilian oil industry is characterized by the large offshore exploratory efforts, since the country's largest reservoirs are at sea. It is increasingly common in Brazil, the use and development of costly technology for drilling in deepwater and ultra-deep, which requires large investments in drilling step, reaching the order of tens of millions of dollars. With the growing number of offshore structures operating in the area, the need to develop and modernize systems that allow oil exploration in deep water more efficiently and safely, has represented major investment in dynamic positioning systems (DP – *Dynamic Positioning*). Dynamic positioning is a system that automatically controls the position and aproamento of a vessel propelled by active, (BRAY, 1998; FOSSEN, 1994). The propulsion systems used must have special requirements that may differentiate them from propellants commonly used in navigation. This article discusses the importance of the reference systems used in drilling rigs for oil wells, Its main features and detail that makes them essential for maintaining the desired position, bow desired direction and speed of the probe during the drilling operation of oil wells.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo de Plataformas	15
Figura 2	Navio Sonda “ CUSS I ”	16
Figura 3	Sistema de Posicionamento Dinamico	19
Figura 4	Elementos do Sistema de Posicionamento Dinamico	20
Figura 1.1	Sistemas de Referencia de Posição (Fonte: Kongsberg)	22
Figura 1.2	Sistemas de Coordenadas Geodesicas	24
Figura 1.3	Mapa do Mundo em Projeção Transversal de Mercator	25
Figura 1.4	Sistemas de coordenadas (fonte: IMCA)	26
Figura 2.1	Sistemas de Posicionamento Global (GPS)	28
Figura 2.2	NAVSTAR Global Positioning System Segments – (fonte: US Army Corps of Engineers)	29
Figura 2.3	Segmento espacial do GPS (fonte: fundamentos GPS)	30
Figura 2.4	Satélites dos Blocos I/IIA/IIR/IIF do GPS	32
Figura 2.5	Foto do Foguete Delta II (fonte: fundamentos GPS)	32
Figura 2.6	Segmento de Controle do Sistema GPS	36
Figura 2.7	Estações de MCS; Antenas e Monitoramento do Sistema GPS	37
Figura 2.8	Posição Baseada no Tempo do Sistema GPS	38
Figura 2.9	Número de satélites necessários para posicionamento	39
Figura 2.10	Fontes de degradação do sinal GPS	40
Figura 2.11	Programação de modernização do Sistema GPS	41
Figura 2.12	Blocos Sv GPS IIF e GPS III	41
Figura 3.1	Diferencial de GPS (fonte: fugro SeastarGPS)	45
Figura 3.2	Navegação DGPS em Tempo Real. Componentes do Sistema	46
Figura 3.3	GPS diferencial (correções DGPS)	48
Figura 3.4	Cobertura da Rede DGPS da Costa do Brasil	50

Figura 3.5	Sistema DPS 700 (fonte: Kongsberg)	53
Figura 4.1	Sistema de Referencia Hidroacustico (HPR)	54
Figura 4.2	Fatores que influenciam no HPR	55
Figura 4.3	Navio acompanhando um ROV utilizando o sistema USBL	56
Figura 4.4	Configuração de um Sistema USBL do HPR	57
Figura 4.5	Sistema USBL/SSBL do HPR	58
Figura 4.6	Sistema SBL do HPR	59
Figura 4.7	Sistema SBL do HPR	60
Figura 4.8	Sistema LBL do HPR	62
Figura 4.9	Transponder Instalados no Riser, no Stack BOP, Transponder tipo DPTi	63
Figura 4.10	Tela de monitoração de medição de angulo dos Transponder Instalados no Riser, e Stack BOP	64
Figura 4.11	Perfuração em águas profundas - RAM	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPP	– Controlled Pitch Propellers
C/A	– Course / Acquisition
DGNSS	– Differential Global Navigation Satellite System
DGPS	– Differential GPS
DNV	– Det Norske Veritas
DP	– Dynamic Positioning
DPO	– DP Operator
DSC	– Digital Selective Calling
DT	– Distance to Target
GLONASS	– Global Navigation Satellite System (Russian)
GMDSS	– Global Maritime Distress and Safety System
GPS	– Global Positioning System
HF	– High Frequency
HPR	– Hydro acoustic Position Reference
IALA	– International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
ICS	– International Chamber of Shipping
IMCA	– International Marine Contractors Association
IMO	– International Maritime Organization
LBL	– Long Baseline System
MF	– Medium Frequency
MSC	– Maritime Safety Committee
P	– Precision Code
PDOP	– Position Dillution of Precision
PMS	– Position Monitoring System
PPS	– Precise Positioning Service
PRS	– Position Reference System
ROV	– Remote Operated Vehicle
SA	– Selective Availability

SAR	– Search and Rescue
SART	– Search and Rescue Radar Transponder
SBL	– Short Baseline Systems
SISTRAM	– Sistema de Informações sobre o Tráfego Marítimo
SOLAS	– Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar
SOPEP	– Shipboard Oil Pollution Emergency Plan
SPS	– Standard Position Service
SRP	– Sistema de Referência de Posição
SSB	– Single Side Band
SSBL	– Super Short Base Line
UHF	– Ultra High Frequency
UKOOA	– United Kingdom Offshore Operators Association
UTM	– Universal Transverse Mercator Projection
VHF	– Very High Frequency
VLCC	– Very Large Crude Carrier
VRS	– Vertical Reference Sensor

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1. Surgimento das Sondas de Perfuração DP	14
2. Breve Histórico sobre O sistema de Posicionamento Dinâmico na Indústria <i>Offshore</i>	15
3. Descrição de funcionamento do Sistema de Posicionamento Dinâmico	18
1. SISTEMAS DE REFERENCIA	21
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	21
1.2 SISTEMAS DE COORDENADAS	23
1.2.1 Sistema Cartesiano Geocêntrico	23
1.2.2 Sistema de Coordenadas Geodésicos	23
1.2.3 Sistema DATUM	24
2. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)	27
2.1 GENERALIDADES	27
2.2 SEGMENTOS PRINCIPAIS DO GPS	29
2.2.1 Segmento Espacial	30
2.2.2 Segmento Terrestre	35
2.2.3 Segmento do Usuário	37
2.3 FUTURO DO GPS	40
3. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL DIFERENCIAL (DGPS)	43
3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	43
3.2 COMPONENTES DO DGPS. CONCEITO E OPERAÇÃO.....	44
3.3 PRECISÃO, POSSIBILIDADES E APLICAÇÕES DO GPS DIFERENCIAL (DGPS)	50
4. SISTEMA DE REFERENCIA HIDROACUSTICA (HPR)	54
4.1 INTRODUÇÃO	54
4.2 PRINCÍPIOS SOBRE O POSICIONAMENTO HIDROACÚSTICO	55
4.3 TIPOS DE SISTEMAS DE REFERENCIA HIDROACÚSTICO	56
4.3.1 Linhas de base super curta (SSBL/USBL)	56
4.3.2 Linhas de base Curta (SBL)	59
4.3.3 Linhas de base de dados (LBL)	61

4.4 SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ANGULO DO RISER MARINHO (MRAMS)	63
CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

INTRODUÇÃO

1. O Surgimento das Sondas de Perfuração DP

As primeiras produções marítimas de petróleo saíram do Lago Maracaíbo, na Venezuela, ainda na década de 1940. Eram, entretanto, em águas rasas e calmas e as operações se processavam quase como em terra, com equipamentos de perfuração e produção colocados em plataformas fixadas no fundo do mar por estacas.

Nos primeiros campos submarinos brasileiros, em lâminas d'água inferiores a 150 m foram utilizadas plataformas fixas, construídas em terra e posteriormente transportadas por barcaças e navios guindastes para instalação em pleno oceano, a dezenas e até centenas de quilômetros do litoral.

À medida em que as descobertas foram atingindo águas mais profundas a utilização de equipamentos fixos no fundo do mar passou a ser impossível. Por isso a opção técnica mais viável passou a ser o uso de plataformas flutuantes, também conhecidas como semi-submersíveis, (antes utilizadas apenas para perfuração), e os navios-plataforma (FPSO).

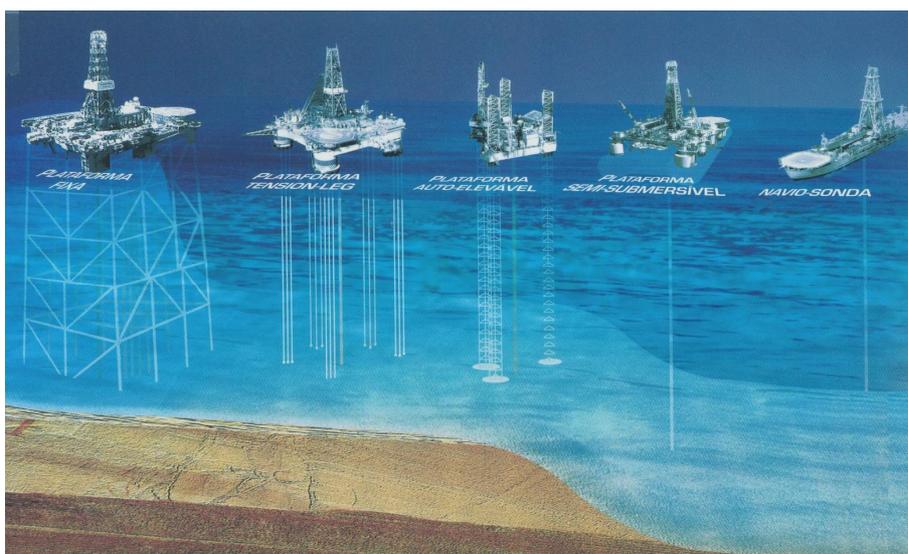


Figura 1: Modelo de Plataformas.

Para que as embarcações realizassem a tarefa de prospecção no mar tornou-se necessário que esta embarcação tivesse a capacidade de se posicionar, ou seja, de se manter estacionária sobre um certo ponto desejado, e, portanto, surgiu a necessidade que ela fosse dotada de equipamentos que produzissem forças que se contrapusessem às forças ambientais, (vento, correntes e ondas), atuantes sobre a embarcação.

Atualmente, em casos mais comuns, e em lâminas d'água de até cerca de 1000m, normalmente se faz uso de âncoras. No entanto, operando em águas cada vez mais profundas, a utilização de âncoras passa a exigir equipamentos cada vez mais pesados e, para o manuseio de barcos cada vez mais potentes, tornou-se antieconômico ou impraticável o seu uso.

Assim surgiu a necessidade de independência em relação à profundidade da lâmina d'água, dada pelo Sistema de Posicionamento Dinâmico (DPS), onde um controlador (computador) recebe informações de posicionamento da embarcação e dos parâmetros ambientais (ventos, correntes e ondas), provenientes de sensores, utilizando um conjunto de propulsores que mantém seu posicionamento a partir da orientação dada por sensores instalados no fundo do mar e pelo sistema de referência.

Como já foi dito anteriormente, define-se posicionamento dinâmico como um sistema que controla automaticamente a posição e o aproamento de uma embarcação por meio de propulsão ativa. A característica fundamental dos DPS's (Dynamic Positioning Systems) é a integração de um grande número de subsistemas operando conjuntamente. Um aspecto importante do projeto é a **redundância** para evitar falhas de quaisquer um deles, Se a falha ocorre, o sistema todo é comprometido, o que acarreta a perda de posição e do aproamento da embarcação.

2. Breve Histórico Sobre o Sistema de Posicionamento Dinâmico na Indústria Offshore

Em 1958, ancorado em bóias superficiais, o *Cuss1* já havia perfurado poços em profundidades entre 14 e 100 metros. Para alcançar os objetivos do projeto

MOHOLE, o navio foi então equipado com quatro *thrusters* de controle manual de 200HP cada um. Fixados no lado externo do casco, nos quatro cantos, eles habilitaram o navio a conter as pequenas forças do meio ambiente. Para controlar a posição do navio, um radar de superfície recebia os ecos de quatro bóias e um sonar interrogava os sensores submarinos.

O *Cuss1* manteve sua posição, por posicionamento dinâmico, em 09/03/1961, em 948 de linha d'água *offshore* em La Jolia, Califórnia. Em seguida, o navio executou cinco sondagens em 3650 metros próximas à ilha de Guadalupe – México, permanecendo dentro de um círculo de 180 metros de raio.



Figura 2: Navio Sonda CUSS I .

Entre tanto, o controle manual simultâneo de *thrusters* era uma tarefa difícil e tediosa, de tal modo que se começou a desenvolver a idéia de um controlador central. Assim, no mesmo ano, o navio EUREKA, lançado por um representante da *Shell Oil Company* e, inicialmente previsto para ter controle manual, foi rapidamente equipado com um controlador automático de posição e aproamento. O EUREKA então executou sondagens em linha d'água maiores que 1.300 metros, num mar com ondas de 6 metros de altura e ventos com velocidade de 21 m/s. O navio deslocou 430 t.

Baseado no mesmo princípio, o navio *Caldrill1* foi entregue a *Caldrill Offshore Company*, em 1964, equipado com 4 *thrusters* governáveis de 300HP cada um, e

dois controladores operando em paralelo, podendo assim, perfurar em 2.000 metros de lâmina d'água. Seu posicionamento em relação a referências fixas era fornecido por dois inclinômetros tipo *tautwire* (sensores pendulares fixados a um cabo, esticados entre o navio e um peso mergulhado no fundo do mar).

As aplicações do posicionamento dinâmico para operações *offshore* continuaram a se expandir nos Estados Unidos. Com início em 1968, diversas campanhas científicas do “*Glomar Challenger*” demonstraram todas as potencialidades do processo, especialmente para perfurações e operações de reentrada no poço.

Em 1971, a *Sedco 445*, um navio com deslocamento de 16000 t, inaugurou uma era industrial de perfuração petrolífera em águas profundas. Desta forma as aplicações do posicionamento dinâmico foram consideravelmente diversificadas. 1980, o número de navios DP totalizavam cerca de 65 embarcações, enquanto que em 1985 esse número tinha aumentado para cerca de 150 embarcações. Assim, em 1986, o número de unidades equipadas com sistemas DP chegava a 180.

No Brasil, as primeiras sondas de posicionamento dinâmico começaram a operar no âmbito dos contratos de risco, sendo todos estes navios conforme mostrado na Tabela a seguir:

Tabela 1.1: Primeiros navios DP operando no Brasil [Contratadas pela PETROBRAS]

Navio	Ano	Linha d'água (em metros)
<i>Sedco 471</i>	1978	145
<i>Bem Ocean Lancer</i>	1980 e 1981	131 e 505
<i>Pelerin</i>	1981	806
<i>Sedco 472</i>	1982	427
<i>Pelerin</i>	1982	137

O primeiro navio sonda contratado pela Petrobras foi o “*Pelerin*” em 1984 (Linha d'água:853 m). Inicialmente contratadas em função da perfuração em lâmina d'água crescente, as unidades DP logo se revelaram úteis também para a completção e principalmente manutenção de poços (*workover*) em águas rasas, porém de fundeio restrito, ou seja, em regiões densamente ocupadas por risers, cabos de amarração, tubulações e outras unidades *offshore*. Com a expansão das atividades na Bacia de Campos, outras unidades DP foram sendo contratadas, ao

passo que um grupo de técnicos brasileiros (Petrobras) ia se especializando em operações e sistemas de DP. Muito se aprendeu, principalmente em relação a equipamentos e segurança operacional. Atualmente a Petrobras possui uma sonda própria (P-XXIII) dotada de DP e com capacidade de perfurar em torno de 1900 m de lâmina d'água, além de utilizar diversos navios-sonda e semi-submersíveis, afretados, para serviços em lâminas d'água superiores a 2000 m. A partir de (2002), até os dias atuais, já existem mais de 1000 navios DP e este numero vem aumentado a cada ano.

3. Descrição de funcionamento do Sistema de Posicionamento Dinâmico

É interessante notar a diversidade de tipos de navios DP utilizados nas mais diversas funções nos últimos 20 anos. Dentre estas, destaca-se a sua utilização em operações relacionadas com a exploração e produção de petróleo e gás, por exemplo, Sondas de Perfuração, Embarcações de Produção Tipo FPSO, Embarcações de ROV, Embarcações Hidrográficas, Embarcações Subsea, Navios de Alívio, Navios de Transportes de Cargas Pesadas, etc..

Também deve ser levado em consideração que as demandas da indústria offshore têm exigido cada vez mais um novo conjunto de requisitos técnicos, que aliados ao recente crescimento da exploração de petróleo em laminas d'água profundas, requer métodos menos danosos ao meio ambiente, fato este que trouxe grande avanço na tecnologia usada no Posicionamento Dinâmico.

É importante destacar que o DPS não se limita apenas a um hardware ou a um software instalado em uma sala de comando e, muito menos funciona de forma autônoma. Este sistema, na verdade, funciona em função do princípio da previsibilidade. Essa capacidade é fornecida pela integração de um grande número de subsistemas; qualquer problema em um destes subsistemas pode levar a uma perda a capacidade de manter a posição da embarcação.

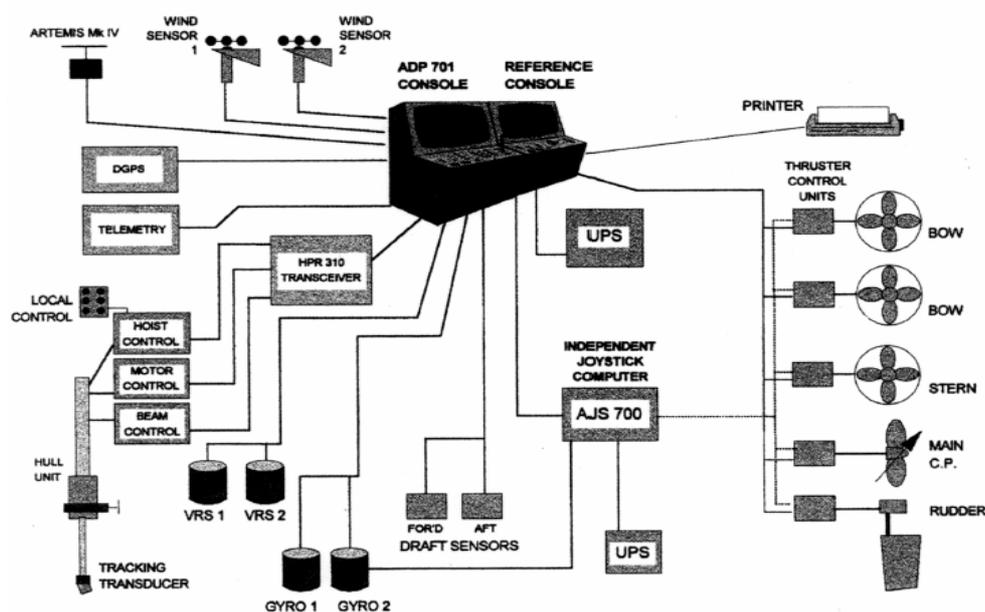


Figura 3: Sistema de Posicionamento Dinâmico (fonte: Apostilha OPL)

O DPS inclui todos os componentes da embarcação, necessários para a função de manter sua posição e aproamento, mas também inclui, além de computadores, consoles e demais equipamentos eletrônicos fornecidos e instalados pelo fabricante do DPS, outros equipamentos com a função de oferecer suporte para a embarcação.

Sendo assim, a implantação do sistema DP deve-se prever a instalação equipamentos de geração de energia, equipamentos de propulsão, além de outros elementos relacionados com a função fim da embarcação, (ex.: sonda de perfuração de poços). Neste caso, em DPS, o termo “sistema” inclui todo e qualquer elemento que, em caso de falha, possa vir a ocasionar perda, degradação ou ameaça da capacidade de manter o posicionamento da embarcação.

Com esse ponto de vista integrado em mente, é evidente que o sistema de DP irá incluir a capacidade da embarcação de geração de energia, o diesel, alternadores, sistema de distribuição elétrica com todos os seus componentes, os propulsores com sua provisão de energia e sistemas de controle. Outro elemento vital relativo ao "sistema DP" é a disponibilidade de pessoal competente para operar o sistema.

Uma maneira conveniente de visualizar a inter-relação dos vários elementos de um sistema de DP é dividi-lo em seis partes, como mostra o desenho a seguir.

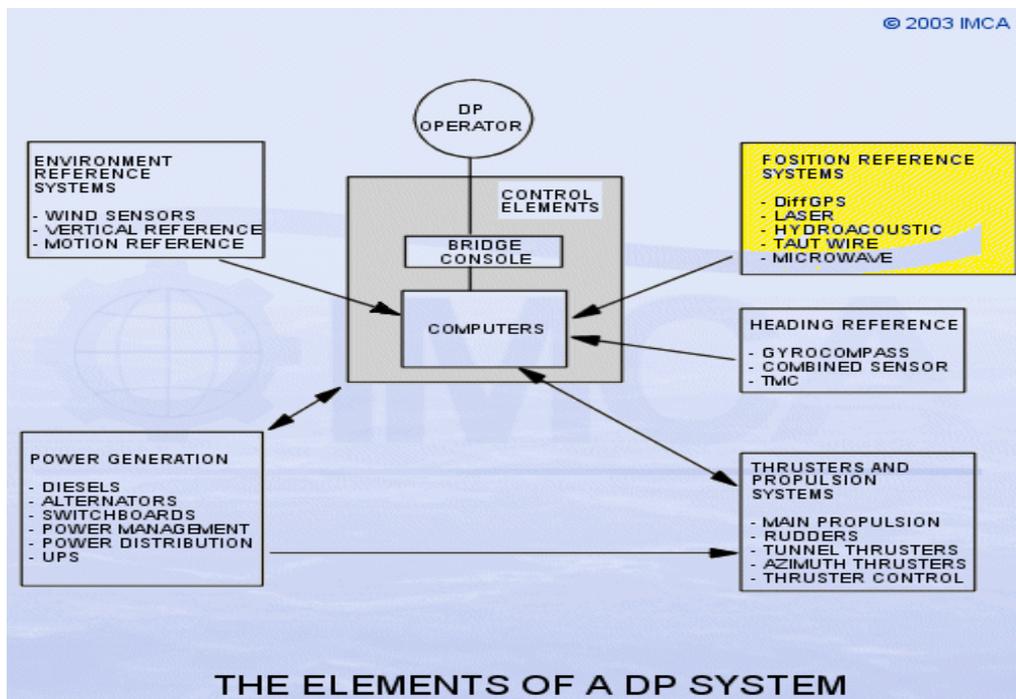


Figura 4: Elementos do Sistema de Posicionamento Dinâmico (fonte: Apostilha de OPL)

Dentre todos os componentes do sistema DP, apresentados na figura acima, este trabalho irá focar no detalhamento todas características e importância dos chamados Sistemas de Referência e alguns de seus componentes mais utilizados em sondas DP.

1. SISTEMAS DE REFERÊNCIA

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Antes de pensar em controlar a posição da embarcação, primeiro é necessário descobrir onde a embarcação está. Sistemas de referência de posição compreendem sistemas absolutos e relativos. Um sistema absoluto dá a posição geográfica do navio ou embarcação. Um sistema relativo dá a posição do navio em relação a uma referência não-fixa. Um sistema relativo pode ser usado como um sistema absoluto, se instalado em um ponto que é uma posição geográfica fixa. E, um sistema acústico absoluto pode ser usado como um sistema relativo se anexado a um activo não fixa.

Os Sistemas de Posição de Referência (PRS) são usados para fornecer a posição confiável, continua e precisa. Tais informações são essenciais para o posicionamento dinâmico. Algumas operações exigem uma maior precisão relativa de DP a uma distância menor que 3 metros do ponto desejado. O sistema de DP requer informações quanto a atualização do posicionamento da embarcação, normalmente a cada uma vez por segundo.

A confiabilidade é, naturalmente, de importância vital, para operações onde a vida e a propriedade podem estar em risco extremo em caso de dados de posição incorreta.

Todos os navios DP possuem Sistemas de Posição de Referência (PRS), (que algumas vezes podem ser denominados equipamento de monitorização ou posição PME), independente da condição normal de navegação da embarcação.

Os SDP podem "agrupar" ou combinar dados de posição de referência a partir de dois ou mais sistemas de referência de posição. Ou seja, o número de referências de posição estabelecidas, que depende de uma série de fatores em particular, o nível de risco envolvido na operação, o nível de redundância que é sensível para a operação, à disponibilidade de referências de um tipo apropriado, e as conseqüências da perda de um ou mais PRS.

A variedade dos PRS usados pelo SDP como: DGPS, Sistemas de ondas rádio e de HPR, a sua confiabilidade destes sistemas de referência, são uma

consideração importante. Cada um tem vantagens e desvantagens, de modo que uma combinação é essencial para a alta confiabilidade.

Se apenas um PRS estiver habilitado para o DP, então este é simplesmente marcado, filtrado e utilizado. Se dois ou mais PRS estão disponíveis, então o sistema precisará usar os dois igualmente, ou de acordo com seus desempenhos individuais.

Em todos os sistemas modernos DP a opção pela média ponderada pode ser selecionada. Neste caso, as referências de posição individual são ponderadas na proporção inversa à variação ou a propagação de dados de posição. Quanto maior o peso de um sistema individual de posição de referência, maior será a influência deste sistema no cálculo da posição. Em outras palavras, aquele sistema de referência, dentre os utilizados no PRS, que apresentar o maior “peso”, este passará a ser utilizado como o “ponto origem” e será o sistema com maior precisão para o posicionamento da embarcação.

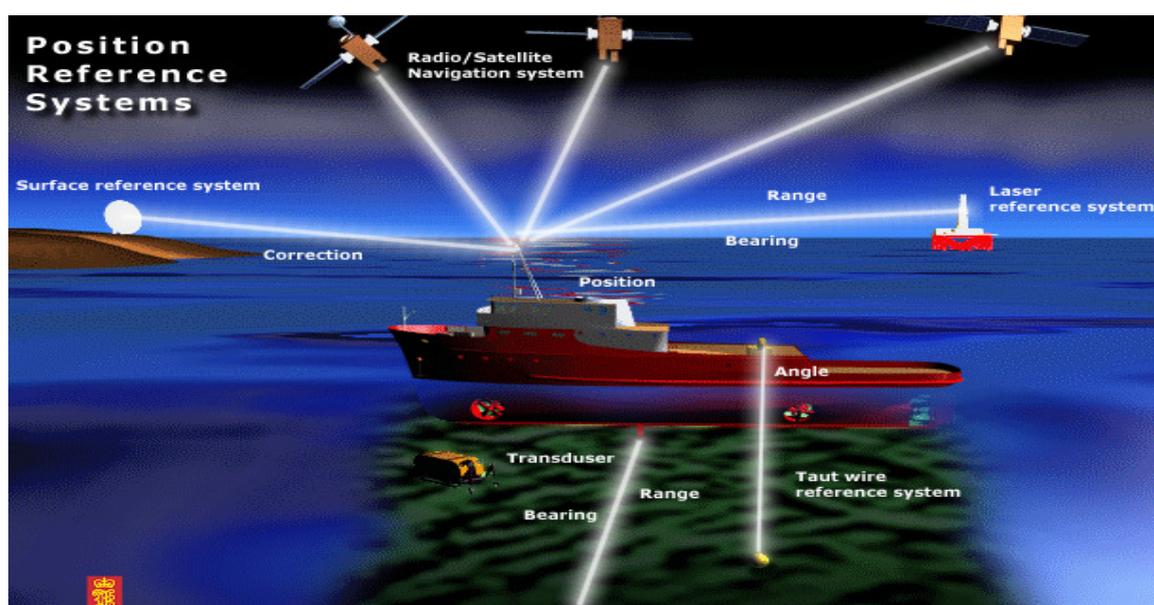


Figura 1.1: Sistemas de Referência de Posição - PRS (fonte: Kongsberg)

As informações sobre a posição a partir de um PRS podem ser recebidas pelo SDP em muitas formas. Além disso, o tipo de sistemas de coordenadas usadas pode ser Cartesiano ou geodésico ou também pode ser capaz de lidar com informações baseadas em qualquer sistema de coordenadas.

1.2. SISTEMAS DE COORDENADAS

As posições GPS podem ser expressas por diferentes sistemas de coordenadas dos quais podem ser destacados.

1.2.1 Sistema Cartesiano Geocentrico

É um sistema tridimensional onde a posição de um ponto é definida pelas suas coordenadas cartesianas tridimensionais (x,y,z) , com características como:

Origem dos eixos no centro de gravidade (centro de massa) da terra

Eixo X no plano do Equador apontado para Greenwich (+)

Eixo Y no plano do Equador 90° anti horário de Greenwich (+)

Eixo Z eixo de rotação da terra apontado para Norte (+)

Os cálculos das posições são feitos nestes sistemas e posteriormente transformados para outros sistemas de interesse.

1.2.2 Sistemas de Coordenadas Geodésicas

Latitude, Longitude e Altitude; Neste sistema a terra é dividida em círculos paralelos ao Equador chamados PARALELOS e em elipses que passam pelos pólos terrestres (perpendiculares aos paralelos) chamadas MERIDIANOS. Cada ponto na terra terá um único conjunto de coordenadas geodésicas definidas por:

- Latitude Geográfica ou Geodésica
- Longitude Geográfica ou Geodésica
- Altitude Ortométrica

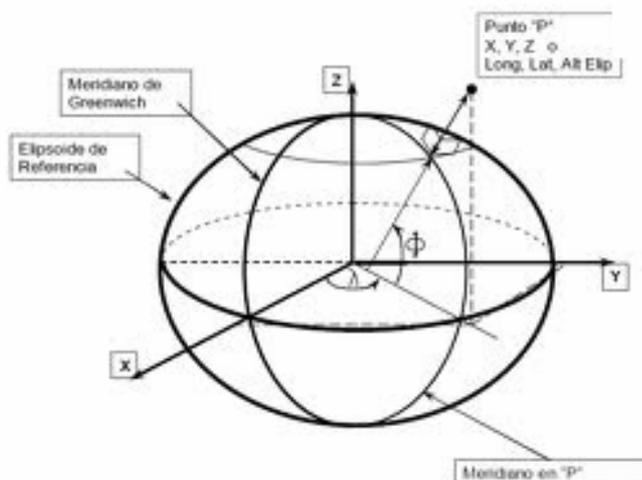


Figura 1.2: Sistemas de Coordenadas Geodésicas

1.2.3 Sistema Datum

É um sistema Geodésico de Referência definido por uma superfície de referência

posicionada e fixa no espaço. É gerado por uma rede compensada de pontos.

Este sistema define um Datum geodesic, como “conjunto de parâmetros especificando a superfície de referência ou o sistema de coordenadas de referência usado para

controle geodésico na determinação de coordenadas de pontos da superfície terrestre; definidos separadamente como horizontal e vertical”. A determinação de uma superfície única para toda a Terra, é essencial na utilização dos sistemas de satélite e das técnicas de posicionamento.

Uma posição é geralmente definida através de coordenadas curvilíneas como a latitude, e longitude e a altitude acima de uma superfície de referência. Neste caso é disponibilizada uma posição em (2+1) dimensões.

É necessário distinguir os seguintes sistemas de coordenadas:

- a) Planas retangulares (grade);
- b) Esféricas;
- c) Elipsoidais (geodésicas);

d) Astronómicas.

Conforme a superfície de referência utilizada for o plano, a esfera, o elipsóide ou o geóide.

As coordenadas elipsoidais são também designadas por geodésicas enquanto as referidas ao geóide são as astronômicas.

De acordo com esta interpretação o termo “coordenadas geográficas” é um termo geral e engloba os tipos mencionados em c) e d).

Este tipo de sistema de coordenadas de referência é puramente local, ou relativo não sendo absoluto ou fixo em terra.



Figura 1.3: Mapa do Mundo em Projeção Transversal de Mercator.

As coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) são usadas nos levantamentos e em cartografia quando a área de intervenção tem extensão considerável. O sistema UTM está dividido em 60 zonas de longitude designadas por fusos. Cada zona fuso tem 6° de amplitude, 3 para cada lado do meridiano central.

A maioria das operações *offshore* são em coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) como o gráfico ou diagrama de projeção local de trabalho. O sistema calculara automaticamente a Zona UTM das medidas de posição geodésica recebidas.

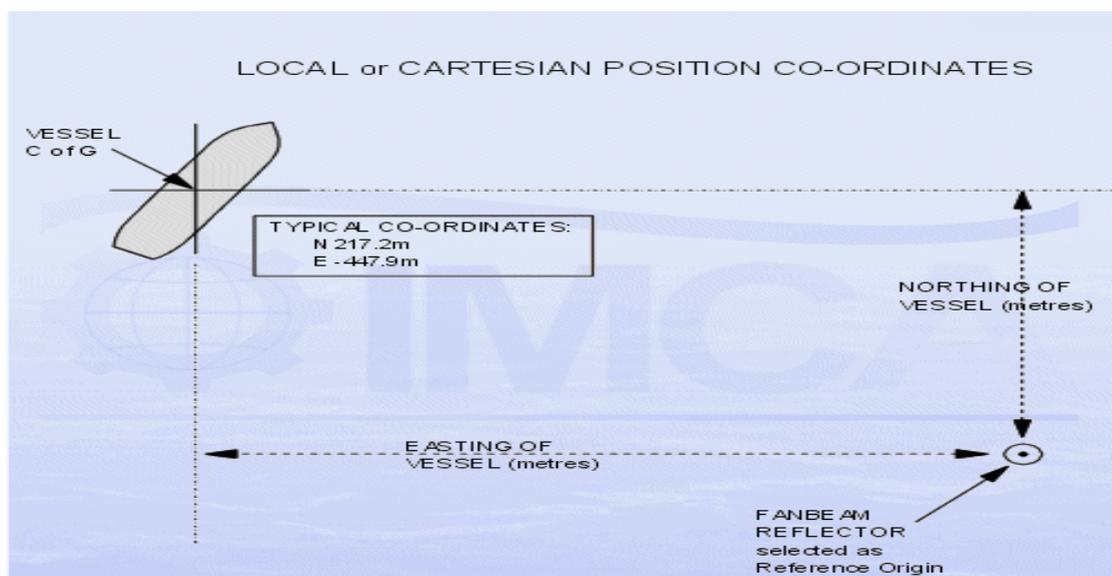


Figura 1.4: Sistemas de coordenadas (fonte: IMCA)

Considerando o exposto, é importante destacar que, para operações que requerem redundância DP (embarcações DP tipo classe 2 ou classe 3), é necessário utilizar três PRS. A utilização de apenas dois PRSs não é adequada, pois se houver falha de um deles, os dados de referência contraditórios podem gerar uma informação conflitante para o sistema. O ideal é utilizar três sistemas concomitantemente. Em caso de ocorrência de algum fator imprevisto durante a operação de estabelecimento da posição da embarcação, o Operador de DP, (DPO), deverá escolher sistemas diferentes, reduzindo assim a probabilidade da chamada "falha de modo comum", onde o fator imprevisto pode resultar em uma perda de posição da embarcação.

Cinco tipos de PRS são usados normalmente em navios DP: Referência Posição Hidroacústica (HPR) TautWire, DGPS, Sistemas Baseados em Laser (Fanbeam e CyScan) e Artemis.

No caso de sondas DP voltadas para a função de perfuração de poços de Petróleo, (que é o foco deste trabalho), os PRSs mais utilizados são: GPS, DGPS/ Sinais de Radio (IALA), e HPR. Cada um destes sistemas será detalhado nos próximos capítulos.

2. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

2.1. GENERALIDADES

Determinar a posição foi uns dos primeiros problemas científicos que o ser humano procurou solucionar. Posicionar um objeto nada mais é do que lhe atribuir coordenadas. O homem sempre esteve interessado em saber onde ele estava; de início restrito à vizinhança imediata do seu lar, mas tarde se ampliou para os locais de comércio e finalmente, com o desenvolvimento da navegação marítima, praticamente para o mundo todo. Conquistar novas fronteiras de modo que o deslocamento da embarcação fosse seguro exigia o domínio sobre a arte de navegar, ou seja, saber ir e voltar de um local a outro e determinar posições geográficas, em terra ou no mar. Por muito tempo, Sol, planetas e as estrelas foram excelentes fontes de orientação. Além da exigência de habilidade do navegador. Mas ainda perdurava um problema: como determinar a posição de uma embarcação em alto-mar.

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 predecessor do moderno sistema de posicionamento foi o (NNSS) também conhecido como sistema TRANSIT, ou NAVSAT, constituiu, de fato, a primeira aproximação deste ideal, constituído por 6 satélites em órbitas polares a 1040 km de altitude. 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.

Em 1964 foi iniciado um novo projeto de navegação de alta precisão denominado *TIMenavigATION* (TIMATION). 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.

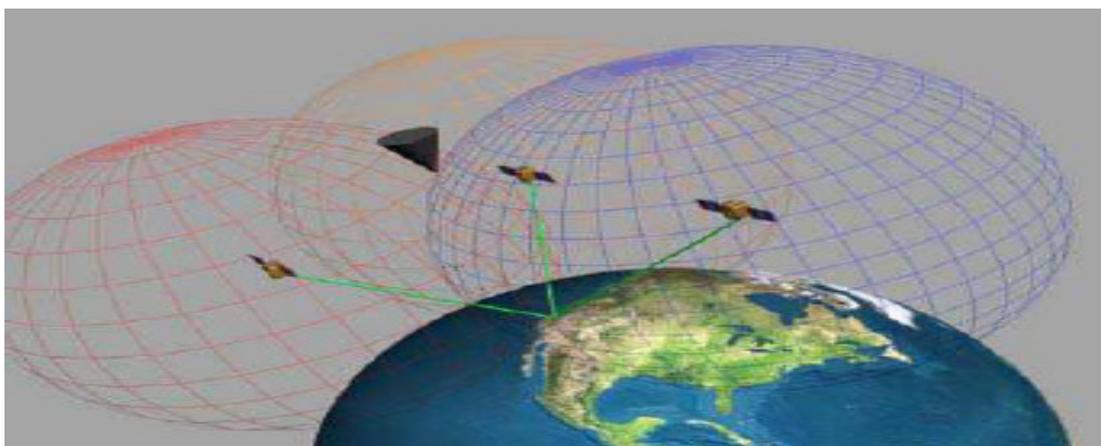


Figura 2.1: Sistemas de Posicionamento Global (GPS)

Em abril de 1973, O GPS tinha seu uso restrito ao emprego militar. Entretanto, após o evento em que uma aeronave civil da Empresa Aérea Coréia foi abatida por um caça soviético, em 1983, devido a ter sobrevoado um espaço aéreo proibido, provavelmente devido a um erro de navegação, matando seus 269 ocupantes, o então Presidente Ronald Reagan anunciou que o GPS estaria disponível para uso civil, assim que fosse considerado totalmente operacional. Isso aconteceu em abril de 1995. Em 1996, o Presidente Bill Clinton declarou oficialmente o GPS como de uso dual, civil e militar, e criou a Agência Interministerial de Gestão Executiva do GPS.

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. O Sistema de Posicionamento Global por Satélites NAVSTAR GPS (“NAVIGATIONSYSTEM BY TIME AND RANGING – GLOBAL POSITIONING SYSTEM”), ou abreviadamente, GPS, como já é conhecido pelos navegantes, é constituído por três componentes principais.

2.2. SEGMENTOS PRINCIPAIS DO GPS

O GPS usa transmissões de rádio. Os satélites transmitem informações de tempo e informações de localização por satélite. O sistema pode ser separado em três partes: **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 como mostra a figura abaixo, proporcionando, simultânea e continuamente, dados de posicionamento tridimensional (Latitude, Longitude e altitude), rumo, velocidade e tempo (hora), com alta precisão.

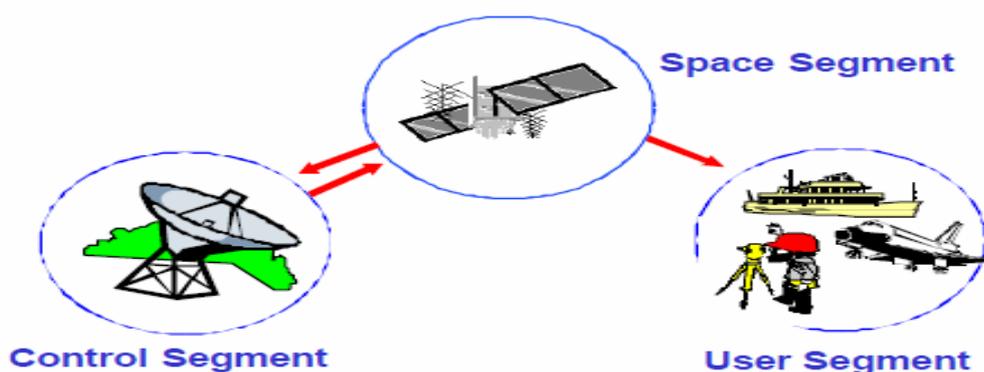


Figura 2.2: NAVSTAR Global Positioning System Segments – (fonte: US Army Corps of Engineers)

No GPS há dois tipos de serviços, os quais são conhecidos como SPS (standard Positioning Service) e PPS (Precise Positioning Service). O SPS é um serviço de posicionamento e tempo padrão que estará disponível para todos os usuários do globo, Este serviço proporciona capacidade de obter exatidão horizontal e vertical dentro de 100 e 140 m respectivamente, e 340ns (nano segundos) na obtenção de medidas de medidas de tempo (95% probabilidade). O PPS proporciona melhores resultados (10 a 20 m), mas é restrito ao uso militar e usuários autorizados.

2.2.1. Segmento Espacial (“Space Segment”)

Este Segmento consiste dos satélites GPS (veículos espaciais, ou SVS), que enviam sinal de rádio a partir do espaço. 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 2.3) estão distribuídos em 6 planos orbitais igualmente espaçados (com 4 satélites em cada plano), 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, separados em arcos de 60° , a uma altura de aproximadamente 20.200 quilômetros (cerca de 10.900 milhas náuticas), com um período orbital de 11 horas e 58 minutos. Desta forma, a posição de cada satélite se repete, a cada dia, quatro minutos antes que a do dia anterior. Esta configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer ponto da superfície terrestre, a qualquer hora. Entre os 24 satélites, 21 são ativos e 3 reservas, prontos para entrarem em operação.

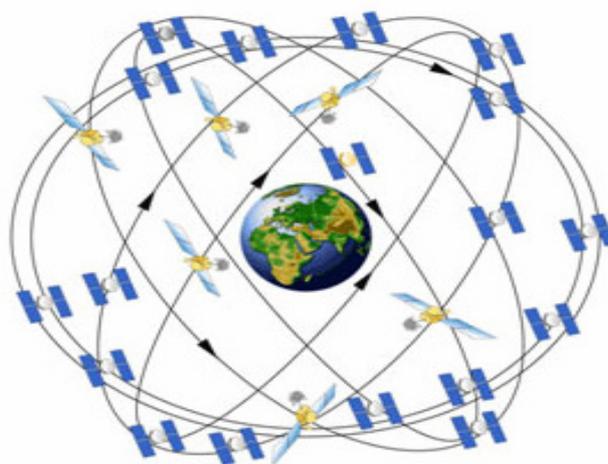


Figura 2.3: Segmento espacial do GPS (fonte: fundamentos GPS),

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, 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 desenvolvidos especialmente para este fim.

Os Satélites da Constelação GPS, também referidos como Veículos Espaciais (SV), apresentam as seguintes características básicas:

- **Peso:** aproximadamente 1.500 Kg;
- **Energia:** Solar;
- **Dimensões:** cerca de 3 x 13 metros;
- **Relógios Atômicos:** 4 (quatro) com precisão de 10-12 , ou seja, com estabilidade de 1 em 1.000.000.000.000 segundos, o que significa que levará cerca de 32.000 anos para adiantar ou atrasar 1 segundo;
- **Transmissores:** rádio frequências portadoras na banda de UHF e de baixa potencia, sendo as básicas designados de L1 (1.575,42 MHz) e L2(1.227,60MHz);
- **Vida útil Média:** 12 anos.

Notas:

a) Os sinais (L1 e L2) trafegam em linha direta, o que significa que, embora ultrapassem nuvens, vidros e plásticos, são obstruídos por objetos mais sólidos, tais como prédios e montanhas.

b) Uma terceira rádio frequência denominada de L5 deverá ser liberada para uso geral.

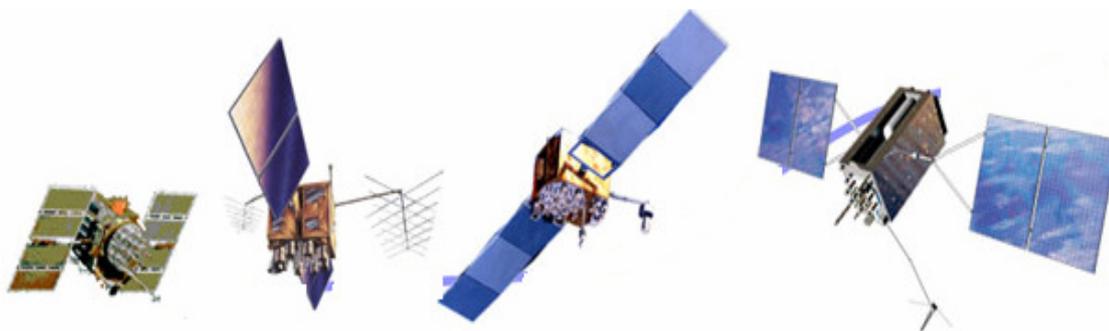


Figura 2.4: Satélites dos Blocos I/IIA/IIR/IIF do GPS,

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 2.5: Foto do Foguete Delta II (fonte: fundamentos GPS)

As órbitas bastantes 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 geo-síncronas. 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 (Y), com maior precisão e um código de proteção contra interferências e transmissões falsas, são de uso privativo do Governo dos EUA. Os sinais com o CÓDIGO P (Y) só podem ser acessados por receptores especiais e não liberados para comercialização.

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.

As Transmissões dos Satélites GPS contém três tipos de informações:

- Código Pseudo-randômico (PRN);
- Dados de Efemérides;
- Dados de Almanaque.

Código Pseudo-randômico (*Pseudo-Random Noise - PRN*)

Pode ser entendido como uma forma do Receptor GPS identificar qual dos Satélites GPS está transmitindo as demais informações associadas.

Os códigos C/A e P(Y) são exemplos de código pseudo-randômico ou PRN, que são códigos binários, usando padrões de seqüências de “1” e “0”, compondo algoritmos matemáticos. Cada satélite transmite uma seqüência única de códigos C/A e P(Y), nas mesmas freqüências L1 e L2, de forma que o receptor GPS possa identificar cada satélite de acordo com seu número PRN. Assim, por exemplo, PRN 2 identifica um dentre os demais satélites da Constelação GPS.

Dados de Efemérides

São as informações sobre a posição que cada Satélite GPS deverá estar ocupando no espaço, a qualquer instante durante as 24 horas do dia. Cada Satélite transmite os dados de Efemérides mostrando as suas próprias informações orbitais, bem como as de cada um dos demais satélites da Constelação GPS. Com esses dados, um receptor pode prever a posição exata de cada satélite, a qualquer tempo.

Dados de Almanaque

São as informações constantemente transmitidas por cada um dos Satélites GPS acerca de sua situação operacional (confiável ou não confiável), correção do seu relógio atômico, informações genéricas de sua posição orbital, parâmetros de retardos atmosféricos às transmissões, informação precisa do tempo GPS atual e sua diferença em relação ao tempo UTC.

A associação dessas três informações obtidas de pelo menos três satélites, ou seja, Código Pseudo-randômico, Dados de Efemérides e Dados de Almanaque, constituem as bases para que um Receptor GPS possa determinar sua posição.

2.2.2. Segmento Terrestre (“Ground Control Segment”)

O segmento terrestre é formado por uma rede mundial de estações com a função de monitorar os sinais transmitidos pelos satélites, processá-los e, sempre que necessário, emitir sinais de comando de posicionamento dos satélites e de correção dos dados à Constelação GPS.

O segmento de controle de corrente operacional inclui uma estação de controle mestre, uma estação de controle alternativo mestre, e 12 estações de comando e controle de antenas, e 16 estações de monitorização. Os locais dessas instalações são mostrados no mapa abaixo. (Figura 2.6)

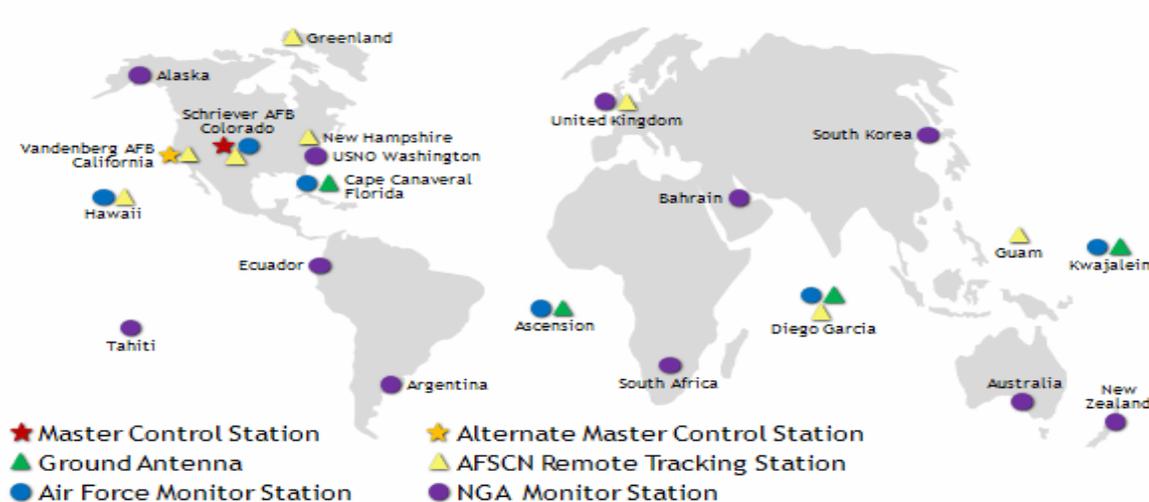


Figura 2.6: Segmento de Controle do Sistema GPS

A constelação de satélites GPS, que é gerenciada e controlada a partir da Estação Máster de Controle. Os dados coletados pelas Estações de Monitoramento são processados na MCS e o seu pessoal técnico pode, com base nesses dados, transmitir comandos aos satélites para corrigir eventuais problemas técnicos.

As Estações de Monitoramento (Havai, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein, Schriever AFB) acompanham e monitoram os satélites em sua visada direta. Os dados coletados são automaticamente transmitidos para a MCS, para processamento e determinação de eventuais necessidades de correções dos traçados das órbitas e dos dados de navegação.

As mensagens de correção emitidas pela MCS aos satélites são transmitidas por meio de Antenas Terrenas (GS) localizadas junto a três das MS.

No caso de ser detectado um problemas mais sério com um dos satélites, a MCS transmite uma mensagem de “não confiável”, que faz com que os receptores GPS o não façam uso de suas informações para o cálculo de posição e tempo.

Nota: Devido à arquitetura do sistema (restrições de visibilidade das MS e o tempo de processamento da MCS), pode levar até 45 minutos para que um satélite com defeito seja declarado “não confiável”. Essa demora é inaceitável para o uso do GPS na navegação aérea, sendo necessário o emprego de infra-estrutura, terrestre

e/ou espacial, complementar ao GPS ('sistemas de aumento') e de receptores GPS de aeronaves dotados de dispositivo de monitoramento autônomo da integridade do GPS (RAIM), para assegurar um efetivo e instantâneo controle da integridade do sistema.



Figura 2.7: Estações de MCS; Antenas e Monitoramento do Sistema GPS

2.2.3. Segmento do Usuário (“User Segment”)

Este segmento consiste dos receptores GPS e a comunidade de usuários, Receptores GPS convertem sinais em posições estimadas, velocidade e tempo. Os receptores GPS são partes integrantes do Sistema e é onde a posição e o tempo são finalmente calculados. É em nível dos receptores que todo o sistema GPS se torna utilizável. O receptor GPS faz a comparação entre o tempo em que um sinal de um satélite foi transmitido com o tempo em que foi recebido. A diferença encontrada indica ao receptor a distancia que se encontra do satélite considerado.

A velocidade do sinal transmitido é a de ondas eletromagnéticas, muito próximas da velocidade da luz, com variações resultantes dos efeitos da ionosfera e da atmosfera, modeladas pelo receptor conforme parâmetros contidos nos Dados de Almanaque, resultando em uma velocidade média.

Assim, a distância do satélite considerado ao receptor, designada como *pseudo-range*, é calculada pela multiplicação do tempo de trânsito do sinal do satélite até o receptor pela média da velocidade do sinal.



Figura 2.8: Posição Baseada no Tempo do Sistema GPS.

Para o cálculo da posição do receptor, além da distância de cada satélite, é necessário o conhecimento da posição do satélite considerado, a qual é obtida dos Dados de Efemérides.

Os receptores GPS são normalmente multicanais, significando que podem acompanhar um satélite por canal. Assim, um receptor com 12 canais pode acompanhar até 12 satélites ao mesmo tempo.

Um receptor GPS precisa estar acompanhando pelo menos 3 satélites (obter simultaneamente as informações de distância – pseudo-ranges – de três satélites), para poder calcular a sua posição em duas dimensões (2D), isto é, em relação sua longitude e latitude.

Uma vez que a posição do receptor está determinada, o receptor GPS, poderá calcular outras informações importantes para suas aplicações, como, por exemplo, velocidade, direção, rota, distância percorrida, distância a percorrer até o destino, horas do por e do nascer do sol, etc.

Para obter uma posição 3D, os receptores precisam acompanhar pelo menos 4 satélites ao mesmo tempo, ou seja, obter simultaneamente informações de distância de quatro satélites (pseudo-ranges), para calcular a sua posição tridimensional (latitude, longitude e altitude) e para resolver a diferença ou erro de tempo entre os relógios atômicos dos satélites (de alta precisão) e o relógio interno ao receptor, muito menos preciso. O erro do relógio do receptor é comum em todas

as medições de distância dos satélites (*pseudo-ranges*) e pode ser solucionado quando resolvidas as equações de cálculo referente a pelo menos quatro satélites.

O receptor faz uso do método de trilateração que é para determinar sua posição, conforme mostram as figuras abaixo:

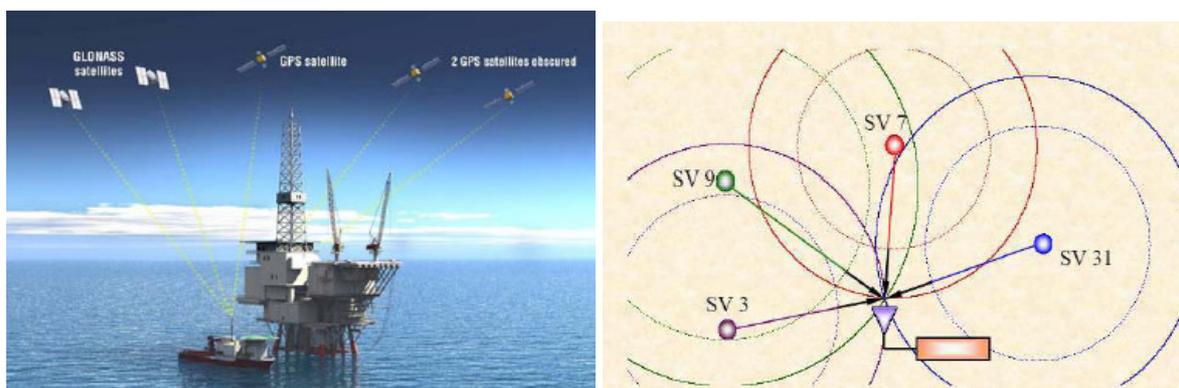


Figura 2.9: Número de satélites necessários para posicionamento.

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.

Alguns fatores de degradação do Sinal GPS podem estar sujeitos à interferências e outros fatores que podem afetar a sua precisão, entre eles, os seguintes:

- - **Atrasos causados pelos efeitos da Ionosfera e da Troposfera:**

Os sinais transmitidos pelos satélites GPS sofrem uma redução de velocidade ao atravessarem a atmosfera. O sistema faz uso de um modelo de cálculo que estima o atraso médio e faz uma correção parcial desse tipo de erro;

- **Reflexão de Sinais (*Multipath*):** Esse tipo de erro ocorre quando os sinais são refletidos em superfícies sólidas, como edifícios e montanhas, antes de atingirem os receptores. Essas reflexões aumentam o tempo de transito dos sinais até os receptores, causando erros.

- **Erro dos Relógios dos Receptores:** Os relógios internos dos receptores não são tão precisos como os dos satélites o que pode causar pequenos erros de medição do tempo.

- **Erros de Órbita ou de Efemérides:** Erros causados por informações não precisa da posição dos satélites;
- **Número Reduzido de Satélites Visíveis:** Quanto menor o número de satélites visíveis maiores são as possibilidades de erros, em função de outros fatores, como terreno, folhagem, construções e outros;
- **Geometria dos Satélites Visíveis ou Sombra:** A posição relativa dos satélites visíveis, com ângulos pequenos de separação entre eles, pode prejudicar a precisão do sistema.

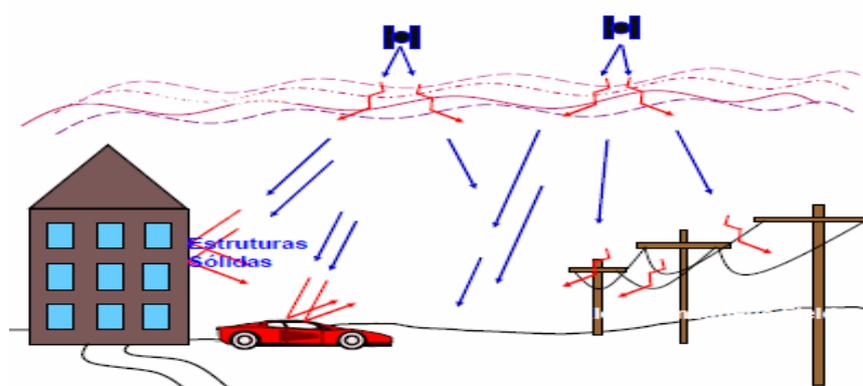


Figura 2.10: Fontes de degradação do sinal GPS

2.3 FUTURO DO GPS

Os Estados Unidos estão comprometidos com um extenso programa de modernização, incluindo a implementação de um segundo e um terceiro sinal civil sobre satélites GPS. O segundo sinal civil devesse melhorar a precisão do serviço civil e apoiar algumas aplicações de segurança de vida. O terceiro sinal irá aumentar ainda mais a capacidade civil e é projetado principalmente para a segurança de aplicações na vida, como a da aviação.

O programa de modernização do GPS é um curso, o esforço de bilhões de dólares para atualizar o espaço de GPS e segmentos de controle com novos recursos para melhorar o desempenho do GPS. Esses recursos incluem novos sinais civis e militares.

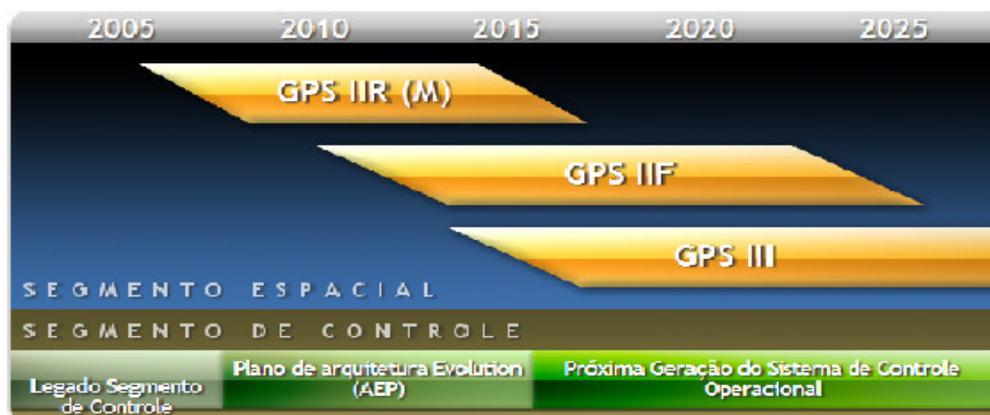


Figura 2.11: Programação de modernização do Sistema GPS.

A próxima geração de satélites **GPS IIF**, construído pela Boeing, irá fornecer uma maior precisão através de avançados relógios atômicos, uma vida mais longa do que os satélites de design legado GPS, e um terceiro sinal novas civil, L5 que acabará por beneficiar a aviação comercial e segurança de vida aplicações.

Atualmente em desenvolvimento pela *Lockeed Martin*, o **GPS III** é o mais novo bloco de *satellites* GPS. Este bloco vai fornecer sinais mais potentes, além de maior precisão do sinal, confiabilidade e integridade - que apoiará com precisão, na navegação e aos serviços de timing.

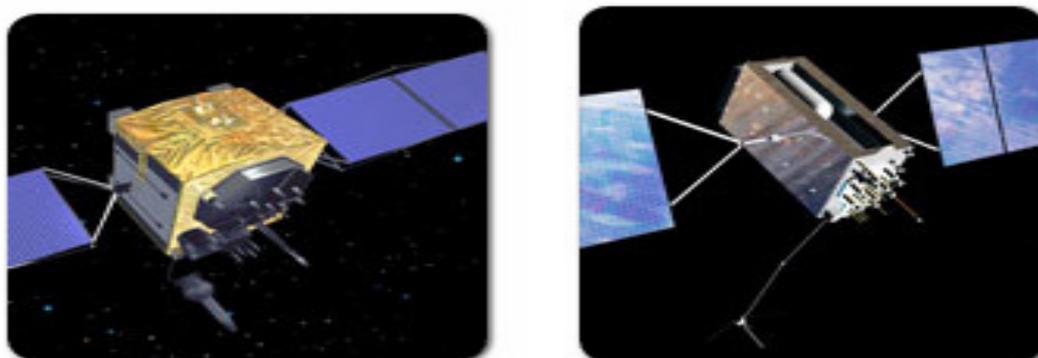


Figura 2.12: Blocos Sv GPS IIF e GPS III

Um dos principais focus do programa de modernização do GPS é a adição de novos sinais de navegação para a constelação de satélites. Os novos sinais estão em fase de transição a Força Aérea devera lançar novos satélites GPS, para

substituir os mais velhos. A maioria dos novos sinais serão de uso limitado, até que sejam transmitidos 18 dos 24 satélites.

O governo Americano está em processo de implementação de três novos sinais projetados para uso civil: L2C, L5, e L1C. O sinal civil, já conhecido L1 C / A ou C / A em L1, continuará transmitindo no futuro, para um total de quatro sinais civis de GPS.

3. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL DIFERENCIAL (DGPS) / SINAIS DE RADIO

3.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

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, melhora a precisão de dois metros da posição real para objetos em movimento e ainda melhor para situações estacionárias como sondas de perfuração. Assim também como as condições de propagação ionosféricas e atmosféricas, os erros de sincronização dos relógios e as irregularidades nas órbitas dos satélites. O GPS diferencial (DGPS) leva a um nível muito mais elevado, torna-se uma ferramenta para as coisas de posicionamento em uma escala precisa.

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

- 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 Radio navegação dos EUA (“Federal Radio navigation Plan”). Este plano especifica uma precisão de posição de 8 a 20 metros (2drms), 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 Radio navigation 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. Várias das estações previstas já estão operando em caráter definitivo.

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 Radio faróis Marítimos existentes, sendo que vários já têm, no presente, Estações DGPS em operação.

3.2. Componentes do DGPS. Conceito de Operação

O GPS Diferencial (DGPS) é um processo que permite ao usuário civil obter uma precisão de 2 cm a 5 m, pelo processamento contínuo de correções nos sinais. As correções são transmitidas em Freqüência Modulada (FM) ou via satélite e são disponíveis em alguns países através de serviços de subscrição taxados. Podem também ser transmitidas por um segundo receptor ou por faróis de navegação

localizados num raio de 100 km do usuário. Em ambos os casos, é necessário ter uma antena receptora DGPS conectada ao receptor GPS convencional.

O DGPS baseia-se na suposição de que o erro na determinação de um ponto é semelhante para todos os receptores situados em um raio de até centenas de quilômetros. A eliminação desse erro permite que o usuário reduza significativamente o erro total presente. Neste sistema, um receptor GPS base é instalado em um local geo-referenciado. Isto permite conhecer a diferença entre a posição obtida através do receptor de GPS base e a posição real do equipamento, possibilitando a correção diferencial do erro.

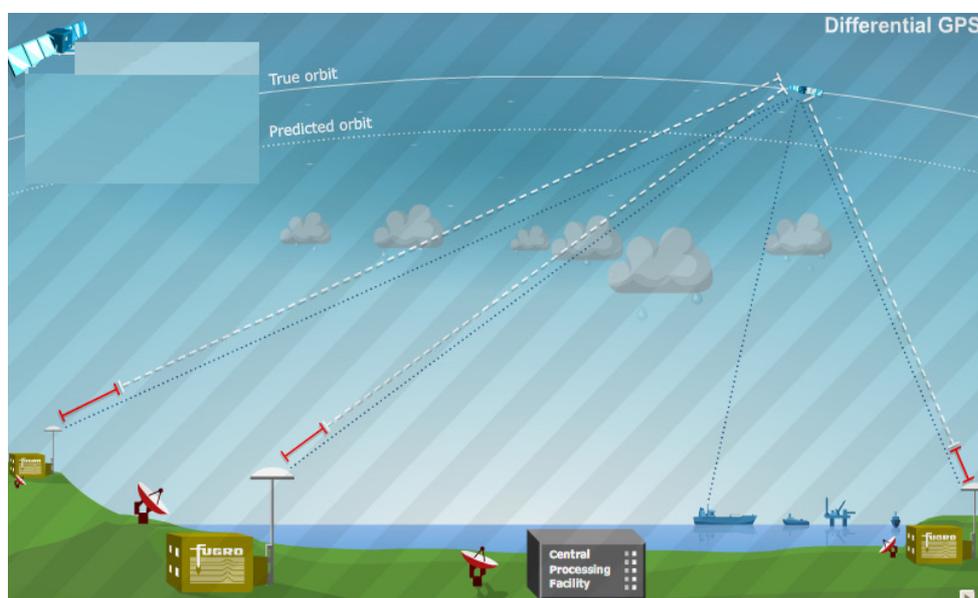


Figura 3.1: Diferencial de GPS (fonte: fugro SeastarGPS)

A correção diferencial pode ser realizada após a coleta dos dados ou em tempo real. No primeiro caso, é necessário um software de pós-processamento e registros de dados simultâneos para ambos os receptores. Para operações em tempo real, o receptor base deve enviar imediatamente para o receptor móvel, o sinal de correção diferencial. O sinal de correção diferencial em tempo real pode ser obtido de: radiofaróis operados pela marinha, estações de rádio terrestres ou ainda pelo uso de satélites de comunicação.

A navegação DGPS em tempo real requer três componentes principais (figura 3.2)

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

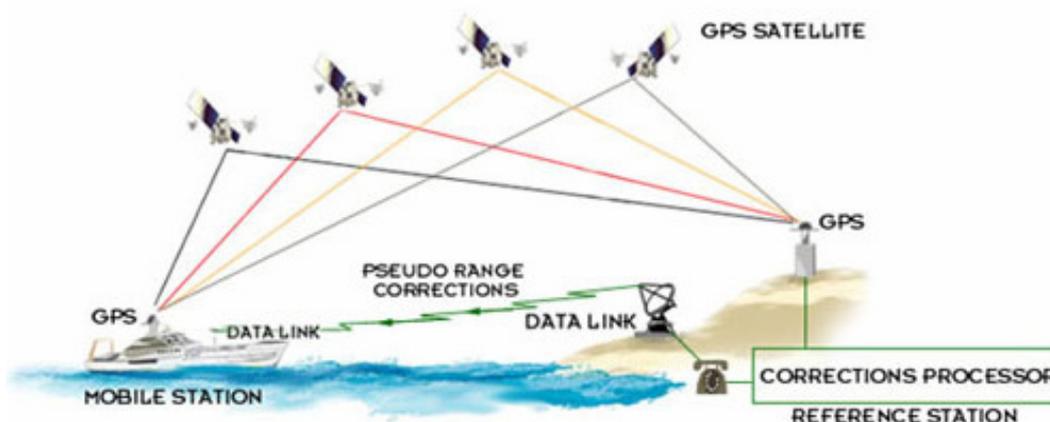


Figura 3.2: Navegação DGPS em Tempo Real. Componentes do Sistema.

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 acompanhado se 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, “demodulador” recebe 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 17, 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 $R1_{ref}$, $R2_{ref}$ e $R3_{ref}$. Ao mesmo tempo, compara estes valores com as distâncias calculadas aos três satélites e obtém as correções $DR1$, $DR2$ e $DR3$. 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 $R1$, $R2$ e $R3$. Ao mesmo tempo, recebe as correções transmitidas pela Estação de Referência DGPS e calcula as distâncias corretas aos satélites: $R1_{corr} = R1 + DR1$, etc. A posição GPS é, então, calculada com os valores corretos de distâncias, o que proporciona uma precisão muito melhor.

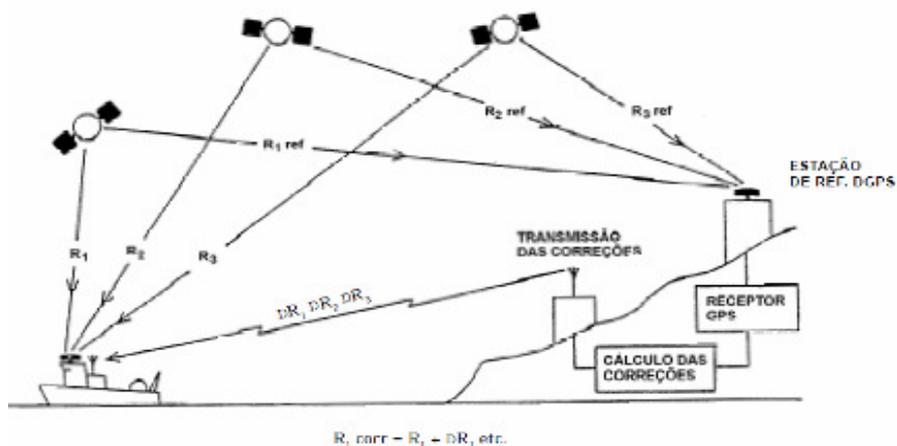


Figura 3.3: GPS diferencial (correções DGPS)

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 freqüências usadas pelos Radiofaróis Marítimos (283,5 kHz a 325 kHz), e dados na razão de 25, 50, 100 ou 200 bits por segundo em todo o mundo;
- a propagação nesta faixa de freqüências 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) e 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 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 aeroporto 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 ERD GPS 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 na figura 3.4 abaixo, 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.



Figura 3.4: Cobertura da Rede DGPS da Costa do Brasil
Nota: Não representa a cobertura terrestre.

3.3. 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 Radio navegação dos EUA):

SERVICOS GPS	REQUISITOS	NAVEGAÇÃO DE APROXIMAÇÃO E EM ÁGUAS RESTRITAS	SERVICOS DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA E CONTROLE DE TRÁFEGO DE PORTO	OPERAÇÕES 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)

Muito embora o Posicionamento Preciso (PPS – “PRECISE POSITIONINGSERVICE”), ou o Serviço Padrão de Posicionamento (SPS – “STANDARDPOSITIONING SERVICE”) do GPS, não proporcionem precisão suficiente para ser usado em navegação e aproximação e navegação em águas restritas, o DGPS, com uma precisão de posicionamento da ordem de 3 metros, (2drms, 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”.

O uso do DGPS em associação ao receptor GPS pode melhorar substancialmente a precisão. No entanto, alguns fatores podem contribuir para a degradação da precisão esperada.

- Perda do Sinal da Antena DGPS – A falta de dados de correção do DGPS resultará em precisão reduzida, que será a mesma do receptor sem a antena DGPS.

- Troca pobre de dados entre o DGPS e o GPS podem resultar em correções intermitentes ou nulas.

- O alcance de transmissão de uma antena DGPS é de poucas centenas de km. Além do alcance, o sinal não é confiável.

- Podem ocorrer interferências no sinal da antena durante atividades atmosféricas intensas. Outras fontes de interferências como alternador do motor, sistema de ignição e ondas VHF podem afetar o sinal. A interferência do alternador e da ignição pode ser minimizada pela proteção apropriada da cablagem, pelo uso de filtros EMI/RFI e pela montagem adequada da antena receptora.

- Trajetória Múltipla: ocorre quando o sinal é refletido antes de alcançar o receptor GPS. O sinal refletido demora um pouco mais para alcançar o receptor que o sinal não refletido. Como a distância para cada satélite é calculada com base no tempo que o sinal leva para alcançar o receptor, a demora resulta em erro de posição. O erro pode ser minimizado pela escolha de um local para a instalação da antena menos exposto a sinais refletidos. Geralmente a antena deve ser montada numa superfície horizontal plana e grande, distante de estruturas verticais como cabines, mastros, etc.

- Número de Satélites Visíveis. Para efetuar as correções nos sinais dos satélites recebidos pela antena da estação transmissora, os mesmos satélites, pelo menos em parte, devem estar sendo recebidos pelo GPS.

- Condições Atmosféricas. Diferenças na ionosfera e/ou troposfera entre a estação DGPS e o receptor DGPS podem resultar em precisão deteriorada. Embora não causem erro significativo, o erro pode aumentar com a distância à Estação DGPS.

- Geometria dos Satélites. Um mínimo de quatro satélites é necessário para determinar uma posição 3D. Às vezes, satélites adicionais são necessários devido à localização relativa entre si. A localização relativa é chamada “Geometria dos Satélites”. A geometria é ideal quando os satélites estão localizados em grandes

ângulos em relação uns aos outros. Quando em linha ou agrupados, a geometria é considerada pobre. Ocorre o mesmo para o DGPS.

A seguir temos um equipamento da Kongsberg do Sistema de Referência de Posição o DPS 700 que é uma solução DGPS/ DGLONASS adaptados para operações exigentes de alto desempenho em termos de precisão, confiabilidade e integridade.

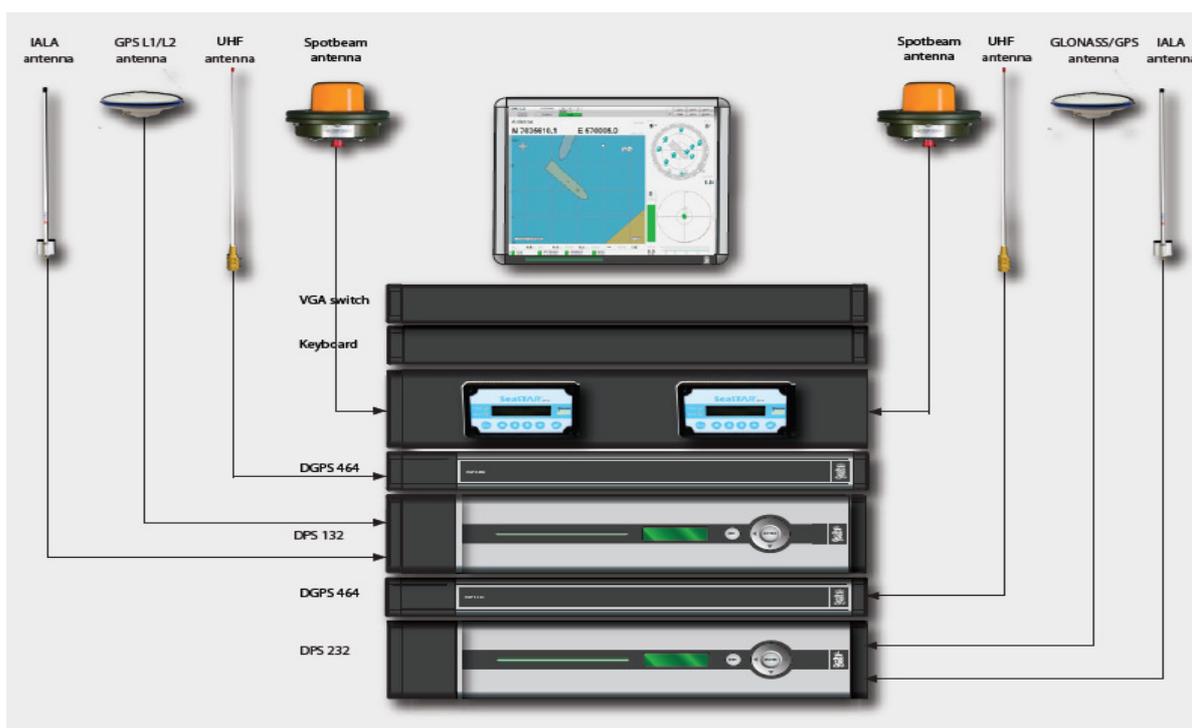


Figura 3.5: Sistema DPS 700 (fonte: Kongsberg).

4. SISTEMA DE POSIÇÃO DE REFERÊNCIA HIDROACÚSTICA (HPR)

4.1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre encontra-se coberta por água em mais de 70%, pelo que os mares e oceanos são naturalmente alvo da curiosidade humana. Os oceanos são uma gigantesca fonte de recursos, grande parte dos quais inexplorados, e aos quais o homem procura ter acesso. A exploração subaquática contudo só se tornou possível nos tempos modernos. Para além dos recursos que disponibilizam e do grande interesse comercial que daí advém, a exploração dos oceanos e seus recursos.

A energia acústica se propaga debaixo d'água com uma eficiência muito maior do que no ar. Esta energia submarina têm muitas aplicações, Talvez o mais simples é o eco-sonda, que proporciona o eco que vão no fundo do mar para produzir informações detalhadas. Assim, outra aplicação será o fornecimento de posição de referência para fins de Posicionamento dinâmico.

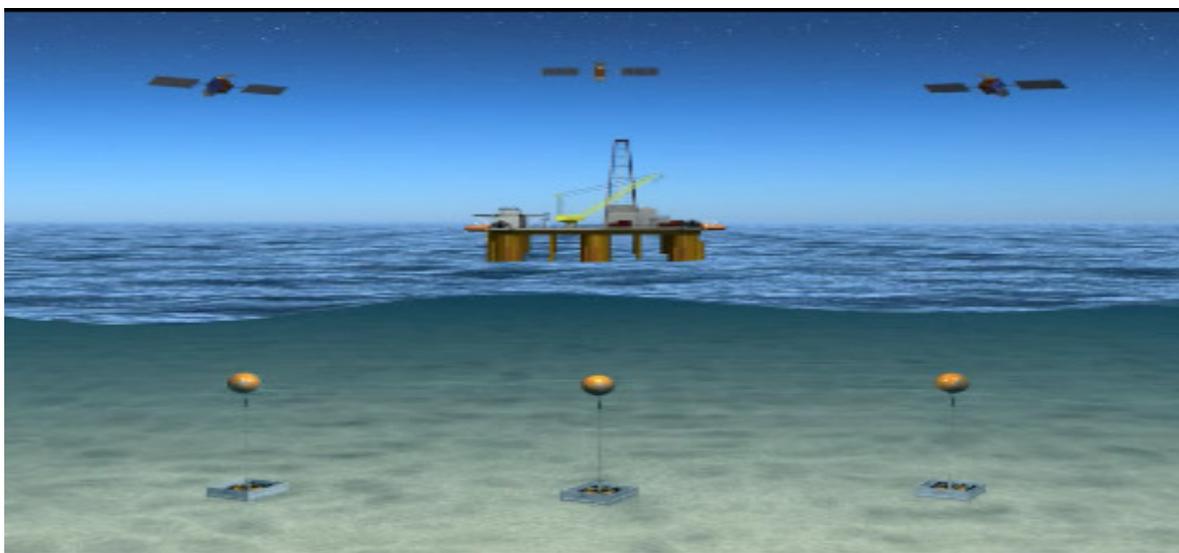


Figura 4.1: Sistema de Referência Hidroacústica (HPR)

O posicionamento acústico é também utilizado para rastreamento de veículos submarinos ou equipamentos, em marcação das características subaquáticas ou hardware e em controle de equipamentos submarinos, por meio de telemetria acústica.

Existem três tipos de sistemas de posição de referência acústica de uso comum - Sistemas de base Ultra ou Supercurto (USBL ou SSBL), Sistemas de Linha de Base Curta (SBL) e Sistemas de Linha de Base Longa (LBL). Cada um tem vantagens e desvantagens que determinam quando e como cada um é usado.

4.2. PRINCIPIOS SOBRE O POSICIONAMENTO HIDROACÚSTICO

Um sistema de posicionamento hidroacústico (HPR) consiste em um transmissor (transdutor) e um receptor (*transponder*). Um sinal, (pulso), é enviado a partir do transdutor, e é voltado para o *transponder* localizado no fundo do mar. Este pulso ativa o *transponder*, que responde imediatamente ao transdutor navio. O transdutor, com a eletrônica correspondente, calcula uma posição exata do transponder em relação ao navio.

Os fatores que influenciam no HPR podem ser:

- Ruídos como: propulsão (thruster), operação de perfuração, ondas, atividade hidroacústica;
- Reflexões como: fundo do mar, estruturas submarinas, da superfície marítima;
- Perdas de transmissão: da propagação da onda, absorção causada por perdas devido ao aquecimento das moléculas de água e sal;
- A qualidade dos valores da velocidade do som;
- Ruído acústico do meio ambiente;

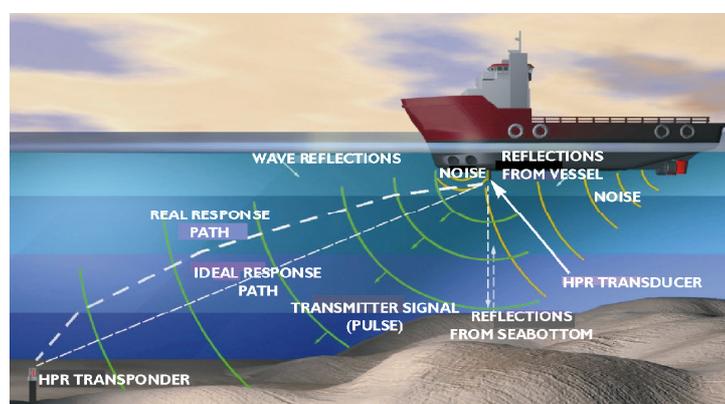


Figura 4.2: Fatores que influenciam no HPR.

4.3. TIPOS DE SISTEMAS DE REFERENCIA HIDROACÚSTICO

Existem três tipos de sistemas de posição de referência acústica de uso comum - Sistemas de base Ultra ou Super-curto (USBL ou SSBL), Sistemas de Linha de Base Curta (SBL) e Sistemas de Linha de Base Longa (LBL). Cada um tem vantagens e desvantagens que determinam quando e como cada um é usado.

4.3.1. SSBL - Linha de Base Super Curta (Super Short Base Line) ou USBL (Ultra Short Base Line)

Os termos SSBL e USBL (Super-short e Ultra-short linha de base) são sinônimos. O princípio é referido como SSBL pelos fabricantes Simrad/Kongsberg enquanto Sonardyne referem-se a seus sistemas como USBL, podemos dizer que é um método de posicionamento acústico subaquático.

O objetivo principal de um sistema de posicionamento USBL é fornecer um meio de estabelecer a posição de um transponder submarino em relação ao transdutor USBL de um navio ou sonda. As duas principais aplicações de um sistema de posicionamento USBL são:

- Posicionamento dinâmico (DP) de uma embarcação em relação a um transponder acústico ;
- Manobrar um ROV, ou outros objetos subaquáticos usando um transponder acústico móvel ou um farol / responder (Beacon).

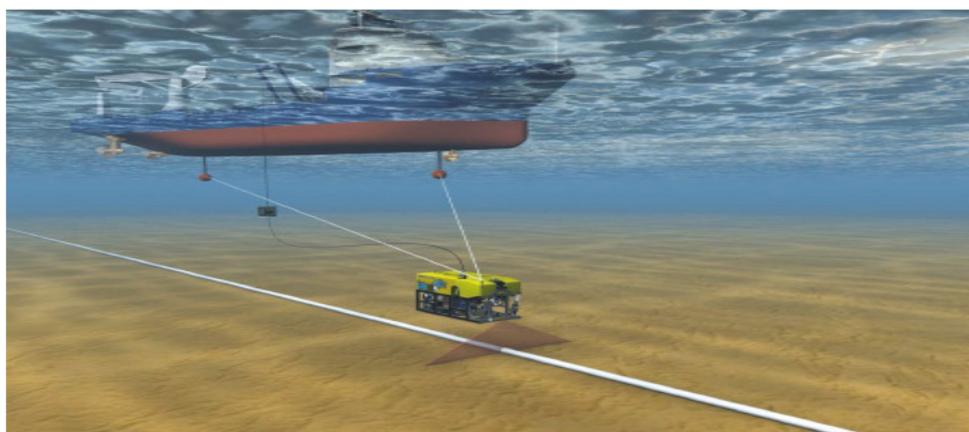


Figura 4.3: Navio acompanhando um ROV utilizando o sistema USBL

Um sistema completo USBL/SSBL consiste de um transceptor, que é montada em um poste (pole) no fundo do navio ou da sonda de perfuração, e um transponder / resposta localizado no fundo do mar, o cálculo do posicionamento é baseado em escala, e sobre medidas de ângulo vertical e horizontal, a partir de um único elemento multitransdutor. O sistema fornece as posições tridimensionais transponder em relação ao navio ou sonda.

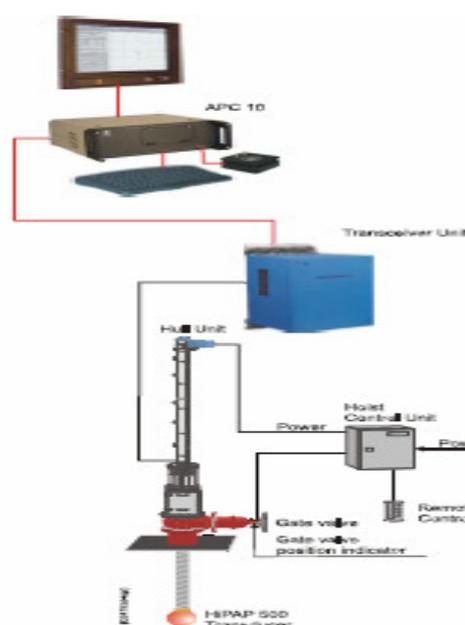


Figura 4.4: Configuração de um Sistema USBL do HPR.

As medidas de posição são baseadas em escala e dados direcionais determinada a partir do resultado de interrogação do transponder. Os transponders múltiplos podem ser interrogados por sua vez, dentro da mesma área. O uso simultâneo de múltiplos transponders é possível através da utilização de interrogações e frequências de resposta diferentes (canais) para cada transponder.

Uma série de ondas de propagação fixas geram uma posição aproximada do alvo, os dados de todos os elementos que encontramos na esfera do transdutor esta voltado para o alvo é então usado para calcular o feixe estreito de recepção e otimizar a medição direcional da onda ou calcular uma posição do feixe estreito da onda dinâmico.

O método de posicionamento do sistema USBL envolve medir o alcance e influência a partir de um navio ou sonda de perfuração com base do transceiver a um transponder. O transponder será posicionado no fundo do mar que pode ser montado em um alvo móvel, como um ROV, ou em um alvo fixo, como uma estação sísmica de cabo terra, é inicialmente posicionado utilizando dados do GPS do navio. O sistema USBL seguida, fornece uma ampla e estimativa do rolamento do transponder em relação à posição do navio ou sonda.

O sistema USBL pode ser um componente fundamental da solução geral de um navio de posicionamento em operações submarinas. Outros componentes incluem roll, pitch e sensores de aproamento (Heading), sistemas de posicionamento de superfície e cálculo da velocidade do som. Além disso, a localização das antenas do GNSS deveram ser medidos com precisão. Todas as observações feitas por esses sistemas têm erros aleatórios, ou ruídos, a eles associados e estes erros se propagam e se acumulam ao longo do cálculo das coordenadas do transponder/ farol ou beacon.

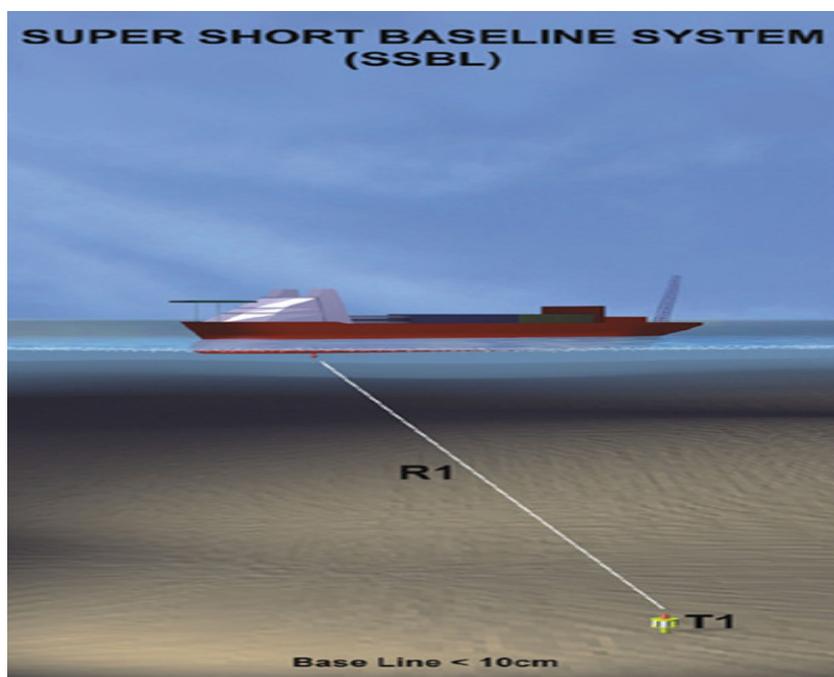


Figura 4.5: Sistema USBL/SSBL do HPR

Um sistema USBL normalmente deve ser capaz de rastrear pelo menos quatro transponder/beacons ao mesmo tempo. Ele deve ter a capacidade de operar, pelo menos, dois transponder em 'modo de responder "qual o transponder/beacons é acionado por um sinal transmitido por cabos a um veículo submarino (ROV). Para sistemas portáteis em águas rasas, a exigência de rastreamento de transponders múltiplos no modo de "responder" não será necessariamente obrigatório.

4.3.2. SBL - Linha de Base Curta (Short Base Line)

O sistema SBL "Short-Base-Line" é normalmente instalado em uma embarcação, como uma sonda semi-submersível de perfuração, barcaça ou de um navio grande. Uma série de (pelo menos três, mas normalmente quatro) transdutores acústicos são montados em um triângulo ou um retângulo na parte inferior da sonda de perfuração. As distâncias entre os transdutores (a "linhas de base") são posicionadas a uma distancia tão grande quanto é prático, normalmente eles são pelo menos colocados a 10 metros de comprimento um do outro. A posição de cada transdutor dentro de um quadro de coordenadas fixo ao navio ou sonda são determinados por dados técnicos, durante a sua construção.

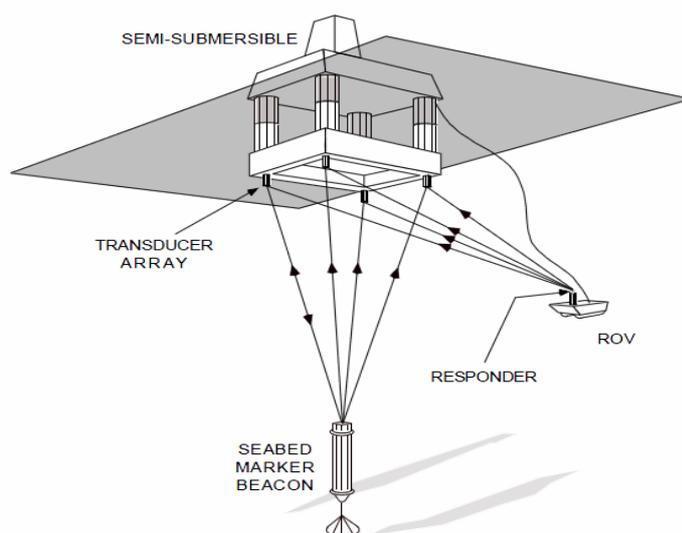


Figura 4.6: Sistema SBL do HPR

O termo "Short" é usado como uma comparação com o sistema LBL "Long-Base-Line". Se as distâncias de um transducer para um Transponder são medidos como descrito para o sistema LBL, então a posição do Transponder, dentro do quadrado de coordenadas, podem ser computadas. Além disso, se as medições são redundantes, uma boa estimativa pode ser determinada, o que é estatisticamente mais precisa do que o cálculo da posição básica.

O Sistema SBL pode transmitir o sinal a partir de um transducer, mas pode receber em todos os outros. O resultado é a medição de distância (ou intervalo) e a diferença de um número do intervalo (ou tempo).

Com um sistema SBL, o grupo de transducer que são fixos ao navio ou a sonda, estarão sujeitos aos movimentos como: Roll (mudança de banda), Pitch (mudança de Trim), Yaw (mudança de aproamento). Esta "desvantagem" pode ser superado usando equipamentos adicionais, como um VRU (Unidade de Referência Vertical) para medir roll e pitch e um Gyro-compass para medir o aproamento. Os quadrantes de coordenadas dos transponders poderão ser transformados matematicamente isso para remover os efeitos dos movimentos de rotação.

Se o requerido é estimar a posição da sonda em alguma coordenada "fixa" ou "inercial", tal como fixado no fundo do mar, pelo menos um transponder devera ser posicionado fixamente no fundo do mar e usado como ponto de referencia. É este princípio que é usado para embarcações "DP".



Figura 4.7: Sistema SBL do HPR.

O cálculo da posição é baseada na faixa de medidas de ângulo vertical e horizontal de um mínimo de três transdutores montados no casco da embarcação .O sistema fornecera as posições tridimensionais do transponder em relação ao navio.

4.3.3. LBL - Linha de Base de Dados Longa (Long Base Line)

O Sistema LBL "Long Baseline" esta dividido em dois segmentos:

O primeiro segmento compreende um numero de transponder / beacons amarrados em locais fixos no fundo do mar. As posições dos transponders são descritas em quadrantes de coordenadas fixadas em relação ao fundo do mar, que sera efetuado os trabalhos de perfuração. As distâncias entre eles formam a "linhas de base", usada pelo sistema.

O segundo segmento compreende um transducer em um transceiver que normalmente é temporariamente instalado no navio. A distancia do transducer para o transponder pode ser medido por causa que o transducer transmite um sinal acústico curto o qual o transponder detecta e faz com que ele transmita um sinal acústico em resposta. O tempo de transmissão do primeiro sinal para a recepção do segundo é medido. Como o som do sinal viaja através da coluna de água a uma velocidade conhecida, a distancia entre o transducer e o transponder pode ser estimada. O processo é repetido para o restante dos transponders e a posição da sonda em relação à disposição dos transponders é então calculado ou estimado.

Em princípio, a posição da Sonda de perfuração pode ser conseguido usando apenas dois transponder no fundo do mar, mas neste caso há uma possível ambigüidade como a qual lado da linha de base (uma linha traçada entre os transponders) o navio pode estar. Além disso, a profundidade ou a altura do transducer tem que ser levado em conta. Três transponders é o mínimo requerido para manter uma posição inequívoca em três dimensões; quatro é o numero mínimo de transponders requeridos para um mesmo grau de redundância o qual é útil para controlar uma boa qualidade da posição da sonda.

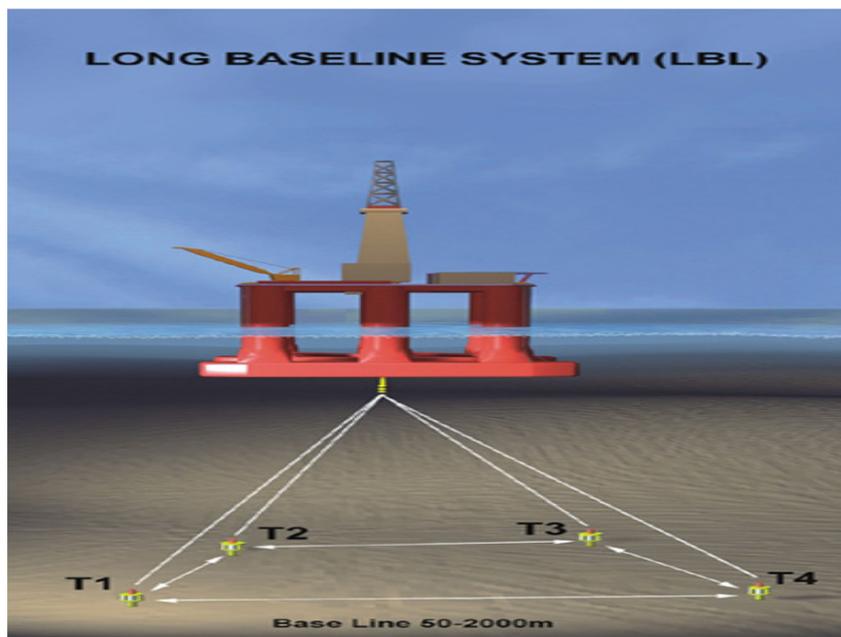


Figura 4.8: Sistema LBL do HPR

Podemos dizer que o termo "Long-Base-Line" é usado porque, em geral, as distâncias de linha de base para LBL são muito maiores do que para a SBL (Short Base-Line) e certamente para USBL/SSBL (Ultra Short Base-Line). E porque as linhas de base são muito maiores, e em um sistema LBL é muito preciso comparado com as versões de SBL e USBL e também tem a vantagem de posicionamento da Sonda.

Nota: Qualquer combinação dos três princípios acima assegura flexibilidade, bem como um alto grau de redundância e precisão.

4.4. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ÂNGULO DO RISER MARINHO – (Marine Riser Angle Monitoring System - MRAMS)

O Sistema de Monitoramento de ângulo do Riser Marinho é de alta precisão, livre de cabos como solução para medir o ângulo diferencial de um riser marinho, na montagem do BOP (Blout Out Prevention) e posição de ele em relação a embarcação.

O sistema é baseado na integração da tecnologia do sistema acústico USBL de posicionamento e a montagem de transponders no BOP equipado com inclinômetros de alta resolução. Este fornece dados claros e inequívocos sobre a posição do navio e status do ângulo do riser marinho.

O sistema de monitoramento é composto por quatro elementos-chave; um controlador de posicionamento e de computador para controlar a transmissão e decodificação de sinais acústicos, O transducer da embarcação que atua como um interrogador / receptor, o qual também responde aos comandos do controlador de posicionamento, e um par de transponders tipo DPTi, sendo um deles montado na coluna do riser marinho e outro montado no BOP.

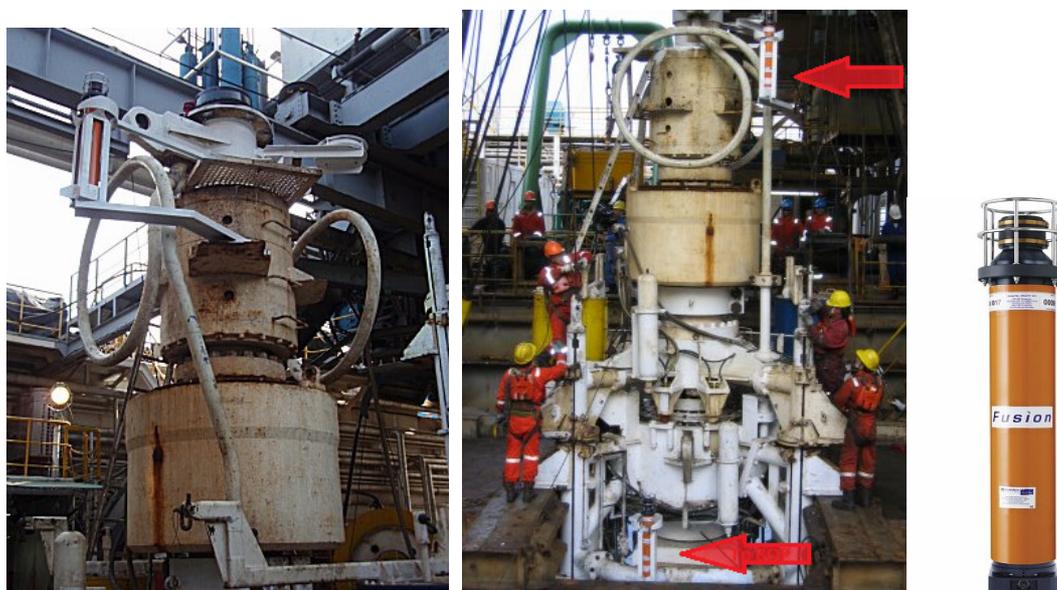


Figura 4.9: Transponder Instalados no Riser, no Stack BOP, Transponder tipo DPTi

No comando do controlador de posicionamento um dos três ângulos podem ser medidos, o do Riser marinho, O diferencial de angulo Riser/BOP. Os ângulos são medidos e transmitidos para a superfície usando sinais acústicos de telemetria. Os dados são decodificados pelo transceiver e transmitidos para o controlador de posicionamento que utiliza o tempo decorrido desde a transmissão de comando para resposta e fase de comparação para permitir o posicionamento da embarcação ao BOP e ao Riser marinho determinado.

O Sistema recomenda uma marcação para que a Plataforma se oriente no fim de minimizar a inclinação do riser em relação ao BOP.



Figura 4.10: Tela de monitoração de medição de ângulo dos Transponder Instalados no Riser, e Stack BOP

Para operações de perfuração em Sondas DP, é importante que a embarcação se mantenha sobre o poço, de tal forma que ao momento de conectar o Riser marinho ao poço o riser este praticamente vertical. O perfil do Riser é, no entanto, determinado pela força da corrente marinha e a tensão, bem como o posicionamento da Sonda de perfuração. Alguns parâmetros são continuamente monitorados como o ângulo inferior do Riser com o stack BOP que não poderá exceder de 3º de inclinação, sendo que nesse caso deveria ser tomada alguma ação para que o Riser não fique pior e possa forçar uma desconexão indesejável.

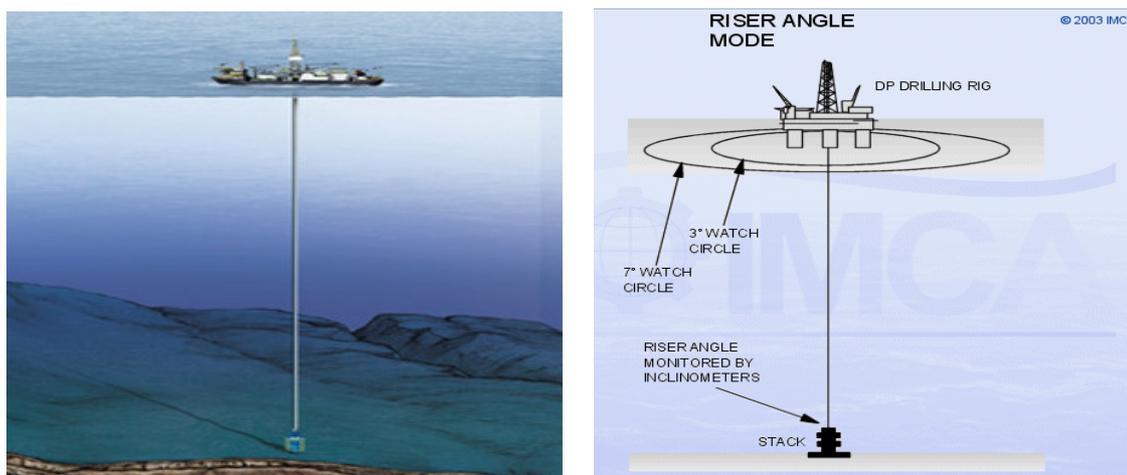


Figura 4.11: Perfuração em águas profundas – RAM.

Alguns sistemas de controle de DP têm uma função conhecida como 'modo de ângulo do Riser". Quando é selecionado, o DP continua com uma posição de referência geográfica, mas move-se para reduzir o ângulo do Riser. A referência para o posicionamento é o ângulo do riser no conjunto do BOP (stack do BOP), usando sensores ligados ao Riser e ao Lower Marine Riser Package (LMRP), que faz parte do BOP. Esses sensores podem ser inclinômetros elétricos, cabos rígidos ou MUX CABLE que são fixados desde o topo da plataforma e vão pelos Riser's até o fundo ou transponders diferenciais de inclinação montados no Riser, enviando informação acústica de posição e de inclinação via interface através do sistema HPR ao DP.

CONCLUSÃO

Na conclusão deste trabalho, e como base nos aspectos desenvolvidos, se abordou só uma pequena parte dos elementos do Sistema de Posicionamento Dinâmico, como são os sistemas de referencia, apesar do assunto ser bastante extenso, e às vezes um pouco complexo, isso nos demonstra que como operadores devemos estar mais familiarizados com o sistema, e principalmente com esse elemento que integra o posicionamento dinâmico, assim como também estar envolvidos nas operações de perfuração de uma embarcação DP.

Com o crescimento de unidades de perfuração DP em águas ultraprofundas, se exige maior capacidade operacional, sofisticação, segurança e eficiência. Essa demanda propicia o desenvolvimento e a produção de equipamentos e softwares de sistemas de DP de melhor desempenho e maior confiabilidade, vantagens operacionais que atendam o mercado e compensem o investimento.

E por ultimo, o foco principal deste trabalho é salientar a importância do uso em conjunto dos sistemas de referencia como (GPS,DGPS / Sinas de radio e sistema acústico), para manter o posicionamento da embarcação no local geográfico desejado ou determinado pelo cliente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAIRMAN OF THE JOINT CHIEFS OF STAFF INSTRUCTION, Position Reference Procedures - 10 August 1998.

DET NORSKE VERITAS , Dynamic Positioning Systems- Operation Guidance / Recommended Practice RPDNV-RP-E307.

QUETZAL, André Wiermann. **O Sistema de Posicionamento Dinâmico (DP) Brasileiro**

KAWAMURA, Fernando Keihan . **Projeto e Implementação de Sistema de Posicionamento Dinâmico para ensaios em veículos Oceânicos**

KONGSBERG, Worldwide dual position reference system – DPS700.

KONGSBERG, A New Reference for Dynamic Positioning of Vessels – Hydroacoustic-aided Inertial Navigation

KONGSBERG MARITIME, Program Operation Manual - Riser Monitoring System

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, Differential Global Positioning System (DGPS), (RTO AG-160 Volume 21).

SONARDYNE, DP Drilling Acoustic Position Reference System,

TANNURI, Eduardo Aoun. **Desenvolvimento de Metodologia de Projeto de Sistema de Posicionamento Dinâmico Aplicado a Operações em Alto Mar**. São Paulo: USP, 2002. 5p.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: 2001.

BRAY, David. **Dynamic Positioning**, 2 Edition, London: OPL, 2003.

_____. **Dynamic Position Simulator**. Lowestoft College. 1999.p. irreg.

<http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/Alex+Lorena/relat1/Posicionamento%20Dinamico.htm>, Relatório de projeto de produção acadêmica – departamento de engenharia oceanica da UFRJ. Acessado em 18/08/2011.

<www.dpoperator.com> – DP Operator web site. Acessado em 18/09/2011.

<www.imca-int.com> – International Marine Contractors Association. Acesso em 23/09/2011.

<en.wikipedia.org/wiki/dynamic_positioning> – Biblioteca virtual Wikipedia. Acessado em 01/10/2011.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamento_global>, Biblioteca virtual. Acessado em 01/09/2011.

<<http://www.km.kongsberg.com/KS/WEB/NOKBG0240.nsf/AllWeb/FF57C18363FAD917C1256A7E002B9F2F?OpenDocument>>. Acessado em 26/08/2011.

<<http://www.sntp.org.br/introducaoogps.pdf>>, Introdução ao Sistema de Posicionamento Global – GPS. Acessado em 10/09/2011.

<<http://www.slideshare.net/azvdo/gps>>, SISTEMA GPS. Acessado em 01/09/2011

<<http://www.maregps.com.br/>> Acessado em 26/08/2011.

<http://mauricioluiz.webnode.com.br/news/dgps-differential-gps-gps-diferencial-/DGPS_Diferencial>. Acessado em 01/09/2011.

<<http://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap-37.pdf>>, NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES. Acessado em 01/09/2011.