

Centro de Instrução Almirante Graça Aranha - CIAGA
Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante – EFOMM

**O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO PARA
NAVIOS MERCANTES**

Luan Martins FURLAN

Orientador
CLC Sebastião Mauro de Oliveira

Rio de Janeiro
2012

Centro de Instrução Almirante Graça Aranha - CIAGA
Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante – EFOMM

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO PARA NAVIOS MERCANTES

Luan Martins FURLAN

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica (FONT) da Marinha Mercante.

Orientador: CLC Sebastião Mauro de Oliveira

Rio de Janeiro
2012

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO PARA NAVIOS MERCANTES

Luan Martins FURLAN

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica (FONT) da Marinha Mercante.

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

Aos meus pais e irmã.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ter sido realizado sem o apoio de diversas pessoas que o leram e fizeram as sugestões pontuais.

Sou grato a todos os professores do curso que tanto contribuíram em meu aprendizado e para a realização deste trabalho.

Agradeço aos colegas e amigos, pelo companheirismo, pelas sugestões e apoio dados neste trabalho e ao longo do curso.

Agradeço também a todos os funcionários da biblioteca do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA) pelas informações fornecidas, pela atenção e apoio no decorrer do curso.

Enfim, agradeço a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desta monografia.

"Mesmo as noites totalmente sem estrelas podem
anunciar a aurora de uma grande realização."

Martin Luther King

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi descrever de forma minuciosa o Sistema de Posicionamento Dinâmico para navios mercantes, tomando como base o estudo de teses e dissertações produzidas no campo de conhecimento da Marinha Mercante, bem como publicações da Organização Marítima Mundial (IMO – International Maritime Organization) e da International Marine Contractors Association (IMCA). Este estudo ressalta a importância do emprego do Sistema de Posicionamento Dinâmico nos navios mercantes, uma vez que as operações com estas embarcações tornam-se cada vez mais precisas e exigentes. Para isso, foi realizado o histórico do desenvolvimento deste sistema e descrito cada um dos subsistemas que integram o Sistema de Posicionamento Dinâmico. Buscou-se detalhar cada um destes de forma que seja compreendido cada um, a fim de evitar falhas, as quais podem comprometer todo o sistema e, conseqüentemente, causar acidentes.

Palavras-chaves: Sistema de Posicionamento Dinâmico, Navios Mercantes, Marinha Mercante, IMO.

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize in detail the Dynamic Positioning System for merchant ships, based in the study of theses and dissertations produced in the field of knowledge of Merchant Navy, as well as International Maritime Organization's (IMO) and International Marine Contractors Association's (IMCA) publications. This study points out the importance of using the Dynamic Positioning System in merchant ships, since the operations with these vessel become even more precise and demanding. For this, was held the historical of this system development and described each subsystem that integrate the Dynamic Positioning System. Was tried to detail each of these subsystems in a way that each one is understood, in order to avoid failures, which may affect the entire system and, consequently, cause accidents.

Key words: Dynamic Positioning System, Merchant Ships, Merchant Navy, IMO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Diagrama de Blocos de um Sistema de Posicionamento Dinâmico	18
Figura 02: Elementos de um Sistema de Posicionamento Dinâmico	20
Figura 03: Graus de Liberdade de uma Embarcação	22
Figura 04: Situações típicas de escoamento aerodinâmico afetado na região próxima ao sensor	29
Figura 05: Estações Artemis fixas e móveis em diferentes alturas	34
Figura 06: Sensor RADius	35
Figura 07: Sensores Fanbeam e Cyscan, respectivamente	36
Figura 08: Long Baseline System (LBL)	37
Figura 09: Exemplo de aplicação do sistema LBL por equipes de mergulhadores	38
Figura 10: Short Baseline System (SBL)	38
Figura 11: Aplicação do sistema SBL no rastreamento de alvos submarinos	39
Figura 12: Ultra Short Baseline System (USBL)	40
Figura 13: Guincho utilizado no Sistema Taut Wire	41
Figura 14: Equipamento Classe 1	43
Figura 15: Equipamento Classe 2	44
Figura 16: Equipamento Classe 3	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Primeiros navios DP operando no Brasil (Contratados pela Petrobras)	16
--	----

3. CLASSES DE EQUIPAMENTOS PARA EMBARCAÇÕES DP	42
3.1. Redundância	43
3.2. Equipamento Classe 1.....	43
3.3. Equipamento Classe 2.....	44
3.4. Equipamento Classe 3.....	44
4. MODOS OPERACIONAIS DE UM SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO	46
4.1. Joystick.....	46
4.2. Joystick High-Speed	46
4.3. Auto Heading	46
4.4. Auto Position.....	46
4.5. Mixed Joystick/Auto	46
4.6. Follow Target	46
4.7. Anchor Assist	47
4.8. Autopilot	47
4.9. ROT Pilot	47
4.10. Auto Track	47
4.11. Track Line	47
5. COMPETÊNCIAS DO PESSOAL ENVOLVIDO EM OPERAÇÕES DP	48
5.1. Comandante.....	48
5.2. Imediato.....	48
5.3. Oficial de Serviço do Passadiço.....	49
5.4. Operador DP	49
5.5. Operador de Lastro.....	50
5.6. Chefe de Máquinas.....	50
5.7. Maquinista Encarregado do Quarto de Serviço	50
5.8. Rádio Operador	51
5.9. Eletricista	51
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

INTRODUÇÃO

O petróleo é a principal fonte energética da civilização atual, garantindo relevância política e econômica aos países que o possuem em grandes reservas. O petróleo por si só possui uma fascinante história. A disponibilidade desse combustível fóssil, ou a falta dele, foi fator determinante inclusive para algumas guerras da história da humanidade. Parte das grandes reservas encontra-se no mar, muitas vezes afastada da costa e em grandes profundidades. Vultosas somas de recursos, aliadas a grande desenvolvimento tecnológico, permitem a exploração em alto-mar, viabilizada pela importância e pelos altos preços do petróleo no âmbito mundial. No Brasil, por exemplo, 95% das reservas de petróleo são marítimas (dados de 2011), sendo quase a totalidade concentrada na Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro.

Um dos truísmos da indústria do petróleo, em geral, e, em particular, da indústria de perfuração offshore, é que o petróleo foi inicialmente extraído nos locais de fácil acesso. As primeiras reservas de petróleo a serem perfuradas foram as situadas em águas rasas e, com o passar do tempo, as plataformas de petróleo foram se mudando para águas cada vez mais profundas. Por fim, devido à profundidade, atingiu-se um ponto onde já não era mais possível construir uma plataforma ou até mesmo ancorar esta ou um navio-sonda. Assim, tornou-se necessário encontrar uma maneira de manter uma plataforma de petróleo ou um navio-sonda em uma única posição enquanto flutua na superfície. Isto conduziu ao desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Dinâmico.

Como o próprio nome diz, o Sistema de Posicionamento Dinâmico é empregado de forma a posicionar algo dinamicamente em relação a um referencial, visto que, para sabermos se estamos parados ou em movimento precisamos de um referencial.

A Organização Marítima Internacional (IMO) define como unidade ou navio posicionado dinamicamente como todo aquele ou aquela capaz de manter automaticamente a sua posição (local fixo ou predeterminado percurso) exclusivamente pela força de seus propulsores.

O Sistema de Posicionamento Dinâmico engloba toda a instalação necessária para posicionar dinamicamente uma embarcação, compreendendo, basicamente, os seguintes subsistemas: Sistema de Potência, Sistema de Propulsão e Sistema de Controle de Posicionamento Dinâmico. Mais adiante, neste mesmo trabalho, é feita a análise individual de cada um destes Sistemas.

1. HISTÓRICO DO POSICIONAMENTO DINÂMICO

A primeira geração de veículos posicionados dinamicamente surgiu nos Estados Unidos e na França. Esta geração era constituída de embarcações adaptadas, onde a ação dos propulsores era comandada diretamente pela tripulação.

1.1. Estados Unidos:

Em 1958, ancorado em bóias superficiais, o Cuss 1 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 Cuss 1 manteve sua posição, por posicionamento dinâmico, em 09/03/1961, em 948 metros 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.

Entretanto, o controle manual simultâneo de thrusters trouxe dúvidas quanto à confiabilidade da operação, pois exigia excessiva concentração por parte do operador, que, por sua vez, não conseguia manter uma mesma ação de controle por muito tempo, 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 sistema era composto por um controlador analógico que recebia as informações de um sensor de posição do tipo fio tensionado. 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 Caldrill 1 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 taut wire (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 Sedco445, 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. Assim, em 1986, o número de unidades equipadas com sistemas DP chegava a 180.

1.2. França:

Na França, o desenvolvimento das técnicas de DP seguiu um padrão comparável ao dos Estados Unidos. As primeiras experiências foram conduzidas por Gaz de France (GDF) que equipou um velho LCT (Landing Craft Troop) em 1963 para lançamento de dutos. Esta embarcação foi equipada com dois Thrusters governáveis adicionais de 120 HP cada, acionadas por máquinas diesel e controle manual. Em 1963 a Gaz de France executou no Mediterrâneo uma operação com o lançamento de 8 km de dutos de 24 cm de diâmetro, em profundidades que variavam entre 1600 e 2600 metros.

De 1964 a 1975, experimentações offshore e operações realizadas com o Térébel (900t) demonstraram num primeiro estágio, a possibilidade de executar as principais realizações requeridas para a exploração e, se necessário, a produção submarina de óleo e gás a partir de um navio com sistema DP. Inicialmente equipado com central de controle manual de dois thrusters, o navio foi reequipado em 1965 com um controlador analógico para manter posição automaticamente.

Cerca de 30 campanhas, cobrindo um total de mais de 1000 horas de operação com posicionamento dinâmico foram feitos pelo Térébel.

1.3. Brasil:

No Brasil, as primeiras unidades sonda de posicionamento dinâmico começaram a operar no âmbito dos contratos de risco, sendo todos estes navios conforme mostrado na Tabela 01.

Tabela 01: Primeiros navios DP operando no Brasil (Contratados pela Petrobras).

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

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.

1.4. Mundo:

Após a década de 70, o DP tornou-se uma técnica difundida em virtude da expansão da indústria de prospecção e exploração de petróleo em alto-mar. Atualmente, o sistema de posicionamento dinâmico é um requisito de projeto necessário para execução de diversas operações marítimas além das atividades ligadas ao ramo petrolífero. Pode-se mencionar entre outras atividades, a prospecção da crosta terrestre submarina na busca de minerais e petróleo, o combate a incêndios de estruturas fixas ou flutuantes, pesquisa oceanográfica geral, navios militares de suporte, navios de carga e cruzeiro, plataformas de lançamento de foguetes em alto-mar, lançamento e manutenção de dutos submarinos (“pipelaying”), traqueamento de embarcações submersíveis tipo ROV, suporte nas operações de mergulho, operações de reboque e transferência de carga.

De acordo com Donha (1989), a complexidade dessas atividades impõe requisitos severos de manobrabilidade e posicionamento ao veículo utilizado, cujo comportamento depende do SPD utilizado. Assim, os SPDs têm sido projetados para satisfazer requisitos, tais

como: posicionar o veículo próximo a uma estrutura móvel; posicionar o veículo em locais obstruídos por tubulações, cabos e saídas de poços (well heads); movimentar o veículo de um local para outro sem atrasos; minimizar a instalação de equipamentos a bordo, reduzindo o deslocamento e o consumo de energia; capacidade de ajuste de aproamento minimizando os efeitos das forças ambientais; manter-se em atividade em condições ambientais muito severas, com alta confiabilidade e precisão.

No contexto nacional, o SPD é empregado com sucesso em alguns tipos de veículos oceânicos, tais como: navios convencionais, empurradores, barcaças e plataformas semi-submersíveis. Merece destaque a operação das unidades de produção e armazenamento FPSO (Floating Production and Offloading Systems) e dos navios aliviadores, ambos utilizados em grande número e frequência pela Petrobrás.

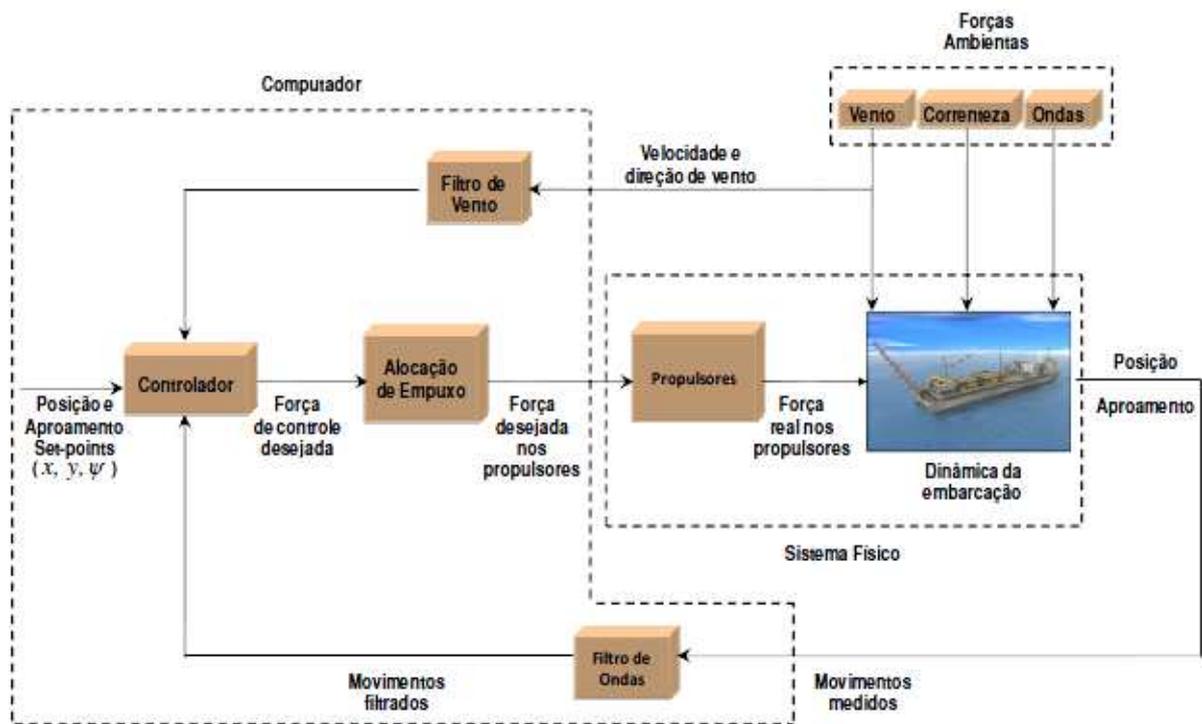
As unidades FPSOs são navios petroleiros convertidos em plataformas e mantidos amarrados em alto-mar. Os FPSOs são responsáveis pela extração, armazenamento e o processamento do óleo em seus tanques. A operação de descarregamento destas unidades é realizada por navios aliviadores (shuttle), que periodicamente se aproximam do FPSO e, durante uma operação delicada, se conectam aos mesmos através de um mangote e transferem o óleo para seus tanques. Durante esta operação, quando não assistida por SPD, navios rebocadores garantem uma distância de segurança entre os dois petroleiros, evitando também que se afastem em demasia, o que poderia desconectar os mangotes. Quando dotados de SPDs, os navios aliviadores realizam a aproximação e manutenção da posição de forma automática, com menor interferência humana e menor risco de colisão. Questões de confiabilidade e desempenho são extremamente importantes, pois a operação de alívio é delicada. Qualquer problema pode levar a colisões ou vazamento de óleo no mar.

2. SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO (SPD)

Define-se Posicionamento Dinâmico como um sistema que, por meio de computadores, controla automaticamente a posição e aproamento de uma embarcação por meio de propulsão ativa, respondendo as variações e condições ambientais. Em linhas gerais, corresponde a um complexo sistema de controle, composto por sensores (DGPS, sonar, anemômetros, agulha giroscópica, etc.), atuadores (propulsores e leme) e um processador central responsável pela execução do algoritmo de controle e pela interface com o operador.

A Figura 01 ilustra o diagrama de blocos de um Sistema DP e todos os componentes, os quais serão detalhados a seguir, envolvidos em sua malha de controle.

Figura 01: Diagrama de Blocos de um Sistema de Posicionamento Dinâmico



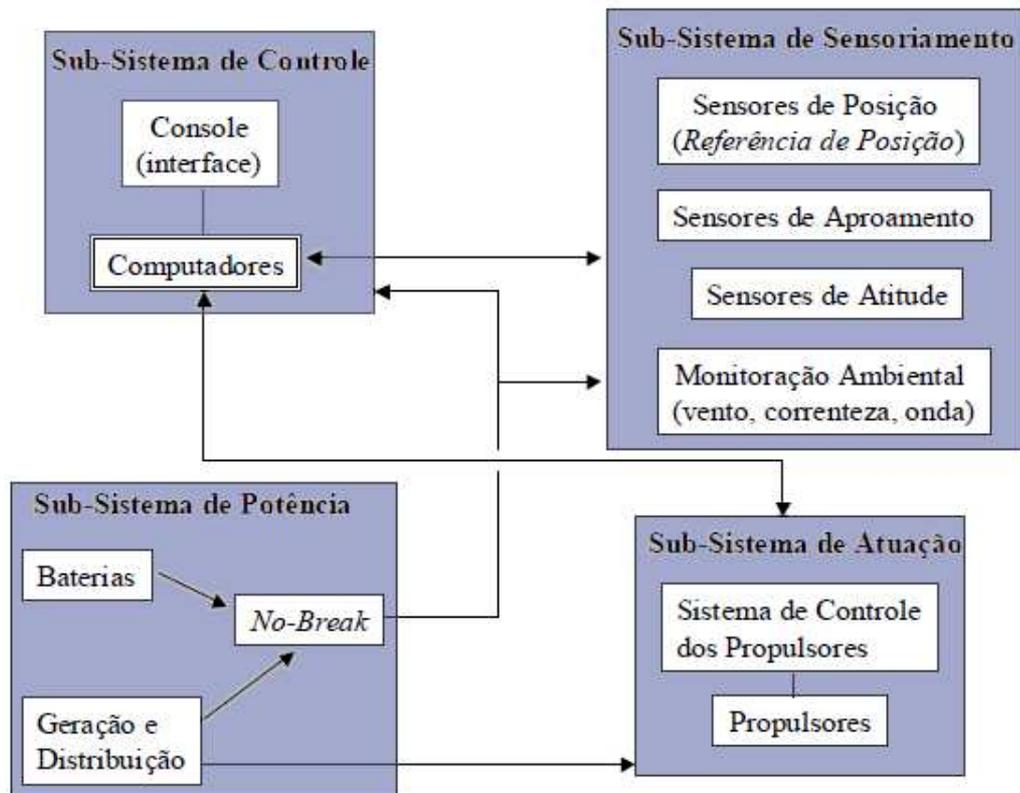
As medidas da posição e aproamento provenientes de sensores são filtradas pelo Filtro de Ondas. Em alto-mar, a embarcação sofre a ação de forças provocadas pela correnteza, onda e vento, que induzem movimentos de alta frequência, excitados por parcelas dos esforços de ondas, e movimentos de baixa frequência, excitados pela correnteza e parcelas dos esforços de onda e vento. O objetivo do Sistema DP é controlar exclusivamente os movimentos de baixa frequência horizontais. As componentes de alta frequência devem ser eliminadas dos sinais medidos, pelo fato do sistema propulsor não ser projetado para

compensar estes movimentos “rápidos”. O controle destas componentes exigiria uma potência muito elevada e poderia danificar os elementos mecânicos. Assim, a “filtragem de ondas” deve ser realizada de modo a atenuar estas componentes. Nos sistemas comercialmente disponíveis, utiliza-se um Filtro de Kalman Estendido (EKF) para realizar esta função. Além da função de filtragem, o EKF realiza a fusão de sensores, que corresponde em obter a estimativa ótima da posição e aprofundamento baseado em informações de múltiplos sensores. Por ser um filtro baseado em modelo dinâmico da embarcação, permite também obter estimativas razoáveis de posição durante alguns instantes em que há perda de sinal do DGPS (função esta conhecida como dead-reckoning), sendo possível manter a posição em torno de oito minutos, e da força ambiental resultante sobre o navio.

Um algoritmo de controle calcula as forças resultantes e momentos de cabeceio (yaw) necessários para o posicionamento da embarcação, baseado na posição atual calculada pelo Filtro de Ondas e na posição requerida (set-point). Para cada um dos três movimentos são utilizados controladores do tipo Proporcional-Derivativo (PD), em sistemas comerciais. Estas forças são então distribuídas pelos propulsores (geralmente, embarcações com Sistema DP possuem de 3 a 9 propulsores) por meio de um algoritmo de alocação de empuxo (TAL – Thruster Allocation Logic). Este algoritmo corresponde a um método de otimização não-linear com restrições. O objetivo é obter um sistema de forças de atuação com resultante igual à calculada pelo controlador, com mínimo de consumo de potência, otimizando o consumo de combustível, evitando a saturação de cada propulsor e compensando as forças em caso de falha de algum propulsor. O vento, medido pelos anemômetros, são em parte compensados por uma malha de pré-alimentação (feedforward).

Além disto, o Sistema de Posicionamento Dinâmico é composto por um amplo conjunto de componentes que garantem o seu funcionamento. A Figura 02 apresenta um diagrama com os principais subsistemas de um SPD, com a inter-relação entre eles, sendo cada um destes subsistemas descritos mais adiante.

Figura 02: Elementos de um Sistema de Posicionamento Dinâmico



O Sistema de Posicionamento Dinâmico nem sempre será a solução mais econômica a ser empregada. Embora as embarcações que usam sistemas de ancoragem tenham certas vantagens como, por exemplo, menor custo de manutenção e menores taxas diárias, o Posicionamento Dinâmico é a melhor opção para determinadas situações como, por exemplo, cenários offshore, tais como águas profundas e áreas congestionadas nos quais o fundo do mar desordenado, com tubulações, próximo a poços e outros equipamentos espalhados em grandes extensões impossibilitam o uso do sistema de ancoragem.

Como principais vantagens e desvantagens apresentadas no emprego do Sistema de Posicionamento Dinâmico, pode-se citar:

Vantagens:

- Não existe necessidade de rebocadores para mudança de locação;
- A embarcação é totalmente manobrável;
- Rápida resposta a mudanças meteorológicas e exigências operacionais;
- Possibilidade de operar em diferentes profundidades;
- Não oferece riscos quanto a amarrações no fundo do oceano.

Desvantagens:

- Vulnerabilidade a falhas ou falta de geração de energia;
- Vulnerabilidade a falha dos propulsores;
- Vulnerabilidade a equipamentos eletrônicos;
- Custo mais elevado da diária em comparação a unidades fixas;
- Alto consumo de combustível.

2.1. Forças Ambientais (Distúrbios Externos)

As embarcações estão expostas a forças ambientais presentes na natureza tais como ações dos ventos, das ondulações e das correntes. Destas, as forças devido às ondas nos dão uma parcela importantíssima dos esforços ambientais, seja pela sua magnitude, seja pelo fato de possuírem componentes que não deverão ser rejeitadas, que é o caso das parcelas de segunda ordem. Assim devemos proceder a divisão das forças devido as ondas. São elas:

- Forças de primeira ordem, ou forças de alta frequência: estas devem ser rejeitadas pelo sistema de controle;
- Forças de segunda ordem, ou de baixa frequência: não devem ser rejeitadas pelo sistema e sim corrigidas. Estas ainda se subdividem em:
 - Deriva média: tem sua intensidade constante; e
 - Deriva lenta.

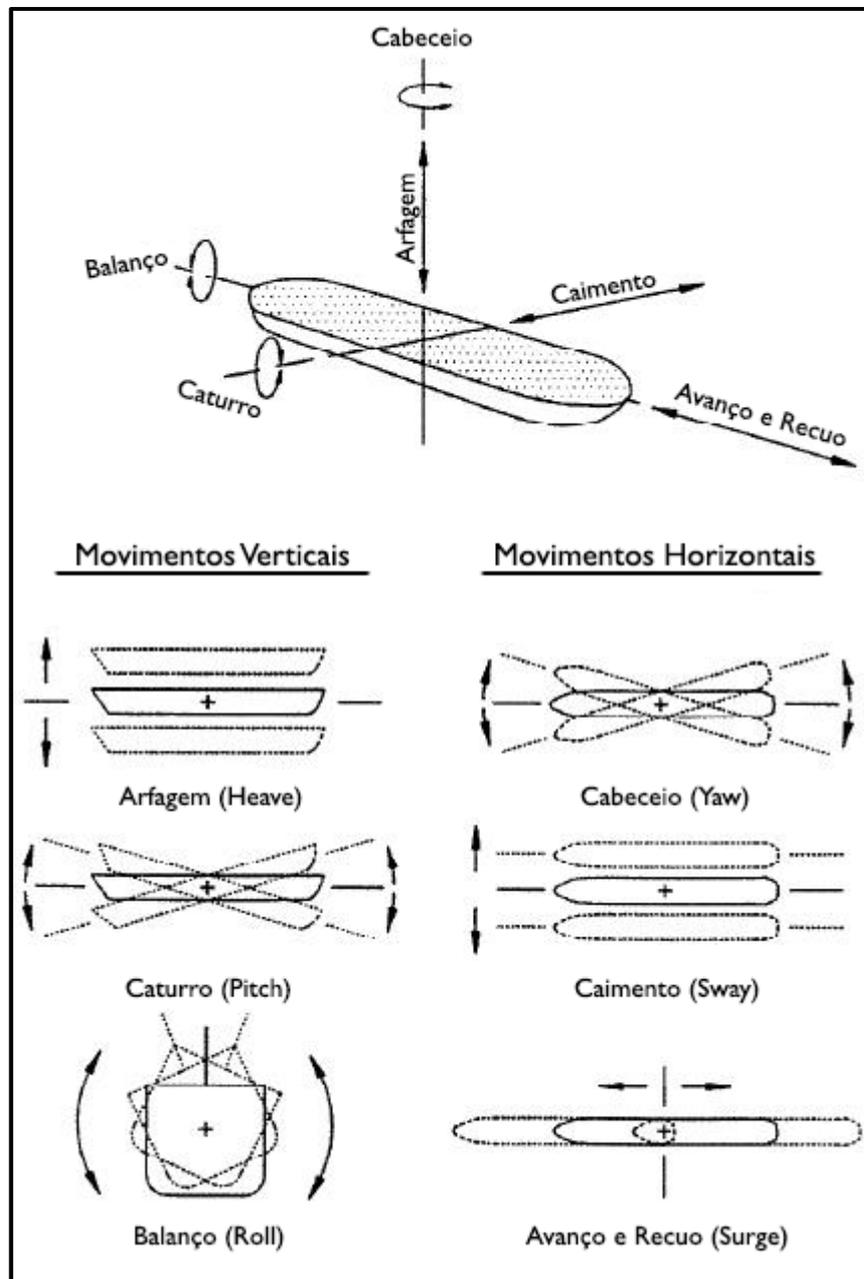
2.2. Graus de Liberdade de uma Embarcação

Graus de Liberdade podem ser definidos como o número de movimentos rígidos possíveis e independentes que um corpo pode executar. Uma embarcação é submetida a forças, de natureza ambiental e do sistema propulsivo, em todas as direções do espaço. Estas forças podem ser reduzidas a três direções ortogonais entre si (x ; y ; z), escolhidas como referência. Sendo assim, uma embarcação possui 6 graus de liberdade, pois pode apresentar 3 translações (na direção dos 3 eixos) e 3 rotações (em torno dos 3 eixos). São eles:

- a) Arfagem (Heave) – movimento vertical em torno de um eixo vertical que passa pelo centro de flutuação.
- b) Balanço (Roll) – movimento oscilatório em torno de um eixo longitudinal que passa pelo centro de flutuação.

- c) Caturro (Pitch) – movimento vertical em torno do eixo transversal que passa pelo centro de flutuação.
- d) Avanço e Recuo (Surge) – movimento longitudinal em torno de um eixo longitudinal que passa pelo centro de flutuação.
- e) Caimento (Sway) – movimento transversal em torno de um eixo transversal que passa pelo centro de flutuação.
- f) Cabeceio (Yaw) – movimento horizontal em torno de um eixo vertical que passa pelo centro de flutuação.

Figura 03: Graus de Liberdade de uma Embarcação



O Sistema de Posicionamento Dinâmico é capaz de controlar os três graus de liberdade que ocorrem no plano horizontal da embarcação, sendo estes: Cabeceio (Yaw), Caimento (Sway) e Avanço e Recuo (Surge).

Os movimentos verticais (heave, roll e pitch) apresentam frequências naturais bem maiores que os horizontais, sendo que as forças de primeira ordem são as suas principais excitações ambientais. As equações dos movimentos verticais não são, em geral, consideradas no projeto dos controladores dos Sistemas de Posicionamento Dinâmico, pois se admite que o movimento horizontal é desacoplado do vertical devido à discrepância entre as frequências naturais. Porém, os sistemas tomam informações acerca dos movimentos de caturro (pitch) e balanço (roll) para permitir que o sistema de referência de posição efetue correções dos desvios de posição, pois, apesar de não controlados, estes movimentos afetam o posicionamento da embarcação.

O sistema não controla e não recebe informações sobre o movimento de arfagem (heave), mas tal movimento pode ser monitorado através de displays a bordo.

Além da ação das forças ambientais, forças resultantes da própria embarcação como, por exemplo, as forças geradas pelo sistema propulsivo irão atuar na mesma. Apesar de não tão influentes e permanentes como as forças ambientais, estas forças também são consideradas. Sendo assim, todas estas forças atuando na embarcação e, conseqüentemente, alterando os momentos dos graus de liberdade desta, impossibilitaria o controle manual simultâneo dos thrusters para manter uma determinada posição.

Para facilitar a vida do operador, o Sistema de Posicionamento Dinâmico automatiza o processo. A somatória das forças atuantes na embarcação irá resultar na mudança de posição, aproamento e velocidade da embarcação. Estas variáveis são medidas por sistemas de referência de posição, pela agulha giroscópica e por sensores de posição vertical, enquanto que sensores de vento são responsáveis por medir a velocidade e o sentido do vento. O sistema calcula as variações entre os valores medidos da posição e do aproamento e os valores desejados, calculando então as forças que os thrusters devem produzir a fim de que estas variações sejam praticamente nulas. Além disso, o sistema calcula as forças do vento, onda e corrente agindo sobre a embarcação e a propulsão requerida para neutralizá-los.

2.3. Subsistemas de um Sistema de Posicionamento Dinâmico

2.3.1. Sistema de Potência

O sistema de potência é o responsável pelo fornecimento de energia aos propulsores e sistemas auxiliares, bem como aos elementos de controle e sistemas de referência.

Os propulsores em um sistema de posicionamento dinâmico, em geral, são os maiores consumidores de energia a bordo. O sistema de controle demanda elevadas variações de carga devido a rápidas mudanças nas condições ambientais. Este sistema deve ser flexível a fim de fornecer rapidamente a energia necessária ao mesmo tempo em que o consumo desnecessário de energia deve ser evitado. Muitas embarcações DP são equipadas com unidades geradoras diesel-elétricas, estando todos os propulsores e consumidores eletricamente alimentados por motores a diesel impulsionando os alternadores. Esta combinação entre motor a diesel e alternador é conhecida como diesel gerador.

Outra possível configuração pode ser utilizada em embarcações DP sendo esta composta de parte de propulsores de acionamento direto por motores a diesel e parte de unidade diesel-elétrica.

A fim de proteger o sistema de controle contra falhas de energia elétrica, uma fonte de alimentação ininterrupta (UPS - Uninterruptible Power Supply) é utilizada. Este sistema fornece uma fonte de alimentação estabilizada que não é afetada por interrupções momentâneas ou flutuações na fonte de alimentação CA. Em uma situação de interrupção prolongada (black-out), este sistema, através das baterias as quais este está associado, irá garantir o funcionamento durante no mínimo 30 minutos. Um Sistema de Alimentação Ininterrupta tradicional é composto basicamente dos seguintes elementos:

- Carregador de baterias: transforma a corrente alternada vinda do sistema de geração em corrente contínua, após isso envia para o inversor e carga do banco de baterias;
- Banco de baterias: responsável pelo armazenamento de energia, para que seja possível alimentar a carga durante falhas da rede elétrica;
- Circuito Inversor: converte a tensão contínua vinda do carregador, em condições normais, ou do banco de baterias, em caso de blackout, em tensão alternada para alimentar os controladores;
- Chave estática: transfere a carga para a rede em caso de falha no sistema.

2.3.1.1. Sistema de Geração de Potência e Distribuição

O sistema de geração de potência e distribuição é dividido nas seguintes partes principais:

- Planta de alimentação com motor principal e gerador;
- Quadros de distribuição em média tensão e disjuntores de barramentos;
- Condicionadores de tensão ou filtros para reduzir as distorções harmônicas;
- Transformadores para alimentação dos níveis de tensão alternados;
- Quadros de distribuição em baixa tensão e Centro de Controle de Máquinas;
- Conversores giratórios para conversão da frequência e fonte de alimentação limpa;
- Sistema de alimentação ininterrupta de equipamentos sensíveis e sistemas de automação.

2.3.2. Sistema de Propulsão

O sistema de propulsão é composto pelos diversos tipos de propulsores e pelos sistemas de controle associados a cada um deles. Propulsores confiáveis e eficientes são essenciais para o efetivo controle da embarcação em DP. A escolha dos propulsores apropriados para uma embarcação deverá ser baseada nas dimensões da embarcação, no papel a ser desempenhado pela embarcação e na condição requerida de trabalho. Programas disponíveis para computador podem ser usados com o propósito de definir ou confirmar o tamanho do thruster, bem como, verificar se uma determinada embarcação pode operar em uma situação específica. Propulsores que operam exclusivamente na operação de posicionamento dinâmico são projetados para ter melhor eficiência em baixas velocidades, como é o caso dos propulsores azimutais e em duto. Os propulsores que operam em ambas as condições, em geral, são projetados para operar com maior eficiência na condição de velocidade de cruzeiro.

Os tipos mais comuns de propulsores utilizados são os propulsores principais, posicionados na popa da embarcação, os propulsores em túnel, montados em túneis instalados transversalmente ao casco e os azimutais, que podem direcionar o empuxo gerado, através de um grau de liberdade adicional de rotação. O número de propulsores utilizados irá depender

da redundância necessária para cada aplicação, da potência requerida e de questões de arranjo. Geralmente, são utilizados de 4 a 8 propulsores.

Os sistemas de propulsão utilizados em posicionamento dinâmico devem possuir especificações especiais, que os diferem dos propulsores comumente utilizados em navegação.

Como as condições ambientais são variáveis, os propulsores devem apresentar resposta compatível às mudanças no empuxo requerido, reagindo rapidamente ao comando do sistema de controle, já que atrasos na resposta podem comprometer o desempenho do sistema de controle, levando até, em casos extremos, à instabilidade e possíveis acidentes. Além disso, os propulsores devem ser projetados de forma a suportar variações de rotação e carga, estando sujeitos a uma média de 750 alterações por hora em suas condições operacionais. Outro importante fator a ser considerado é o tamanho dos propulsores. Como em geral as embarcações dotadas de posicionamento dinâmico possuem redundância para aumentar a confiabilidade do sistema, os propulsores devem apresentar tamanho reduzido de forma que seja possível acomodar muitos propulsores num mesmo casco. Sendo assim, os propulsores em túnel são bastante utilizados, pois permitem a geração de elevadas forças laterais e podem ser acomodados muito próximos um dos outros.

Os sistemas de propulsão para posicionamento dinâmico devem permitir a geração de empuxo em qualquer direção. Para isto, os propulsores azimutais são bastante empregados, pois permitem o direcionamento do fluxo de água (e conseqüentemente do empuxo) para qualquer direção. O movimento azimutal é acionado por motores hidráulicos ou elétricos e o controle do empuxo pode ser feito pelo ângulo das pás (passo variável) ou rotação do hélice (passo fixo). Muitas vezes, o propulsor é montado no interior de um bocal para aumentar o empuxo fornecido. Além disso, os dutos provocam diminuição da cavitação, vibrações e ruídos.

2.3.3. Sistema de Controle

O Sistema de Controle de Posicionamento Dinâmico é responsável por determinar a ação de controle necessária para manter o navio em uma determinada posição ou trajetória desejada, através de unidade lógica computacional. Basicamente, o este sistema é encarregado de receber os dados dos sensores, filtrá-los e comandar a ação dos propulsores de tal forma que seja possível manter o posicionamento da embarcação. Consiste de todos os componentes

e sistemas de controle, hardware e software necessários para posicionar uma embarcação dinamicamente, sendo composto por:

- Sistemas de computadores e joysticks;
- Sistema de sensoriamento;
- Sistemas de displays (painéis operacionais);
- Sistemas de referência de posição; e
- Cabeamento associado e cabos de conexão.

Com o propósito de fornecer um padrão internacional para os sistemas de posicionamento dinâmico em qualquer tipo de embarcação recente, o Comitê de Segurança Marítima da IMO aprovou as diretrizes, de caráter não obrigatório, conhecidas como “Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems” (Diretrizes para Embarcações com Sistema de Posicionamento Dinâmico). Com base neste guia, alguns requerimentos para o sistema de controle podem ser citados:

- Em geral, o sistema de controle deve ser disposto em uma estação de controle de posicionamento dinâmico onde o operador possa ter uma boa visão dos limites externos da embarcação e da área ao redor;
- A estação de controle de posicionamento dinâmico deve exibir informações do sistema de potência e do sistema de controle de forma a assegurar que estes sistemas estão funcionando corretamente. Além disso, a todo momento, devem ser exibidas informações necessárias para operar o sistema de posicionamento dinâmico;
- O sistema de controle de posicionamento dinâmico deve impedir que falhas sejam transferidas de um sistema a outro; e
- Na ocorrência de falhas do sistema de controle, é fundamental que exista a possibilidade de ser realizado o controle manual dos propulsores.

2.3.3.1. Sistema de Computadores

O sistema de computadores consiste de um ou mais computadores incluindo software e suas interfaces. É importante ressaltar que um Sistema de Alimentação Ininterrupta (UPS - Uninterruptible Power Supply) deve ser fornecido para cada sistema de computadores

empregados no Posicionamento Dinâmico para que se possa obter a garantia de que quedas de energia não afetem mais de um computador, evitando assim a perda de dados armazenados.

2.3.3.2. Sistema de Sensoriamento

O sistema de sensoriamento é composto por sensores responsáveis por fornecer as informações necessárias referentes às perturbações externas ao navio para que, juntamente com o sistema de referência de posição, o controlador posicione a embarcação da forma desejada. Além dos sensores para medição das condições ambientais, também são utilizados sensores que medem os movimentos verticais da embarcação (roll, pitch e heave) que, apesar de não utilizados diretamente pelos SPDs devido a suas altas frequências, são utilizados na correção das leituras feitas por alguns tipos de sistemas de referência de posição.

2.3.3.2.1. Anemômetros

Os anemômetros, equipamentos utilizados para medição do vento (velocidade e direção), são encontrados em todos os Sistemas de Posicionamento Dinâmico, pois o controlador utiliza suas informações para estimar as forças de baixa frequência devidas ao vento e contrabalançá-las diretamente pelos propulsores (controle pré-alimentado ou feed-forward).

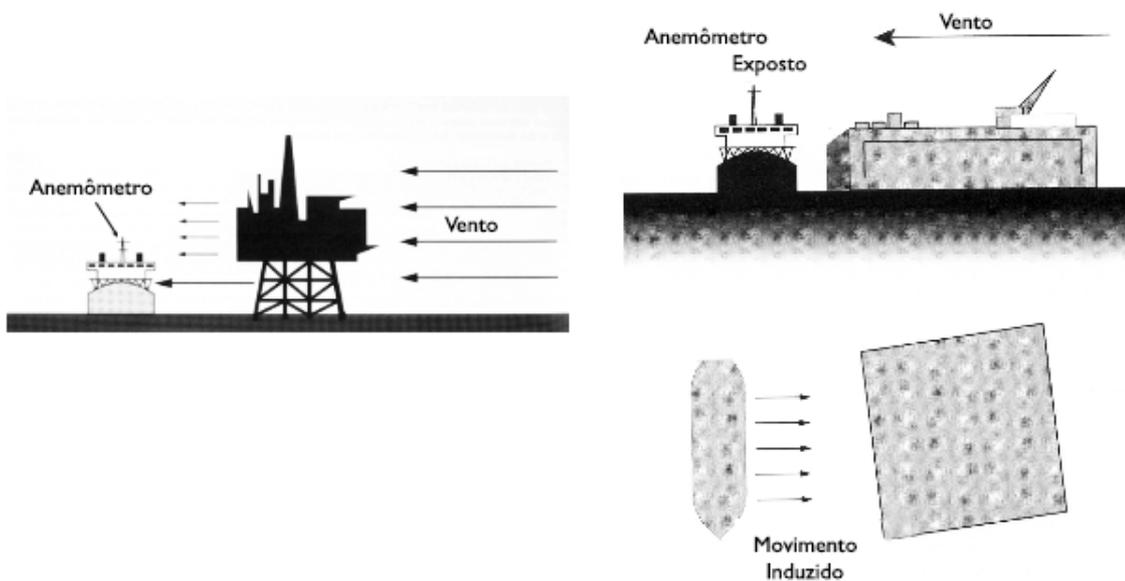
Falhas nos anemômetros causam grandes desvios de posição e, conseqüentemente, podem resultar em sérios riscos à embarcação, devido ao fato do sistema de controle tentar compensar as forças de vento estimadas erroneamente. Sendo assim, em geral, utilizam-se dois ou mais anemômetros e um critério de seleção ou combinação automática das leituras de cada um.

Além de possíveis falhas mecânicas e elétricas, as medidas de um determinado anemômetro devem ser desconsideradas pelo sistema de controle quando o escoamento aerodinâmico é afetado na região do sensor, por exemplo, pela proximidade com uma outra embarcação ou plataforma ou pelo fluxo induzido durante o pouso de um helicóptero. Algumas vezes, as medidas de todos os anemômetros devem ser desconsideradas, sendo que nestes casos a compensação direta das forças de vento deve ser feita baseada na velocidade e direção médias atuantes em instantes anteriores. O sistema perde a capacidade de compensar as forças de rajadas nestes instantes.

Dois exemplos descritos em Bray (1998) ilustram estes problemas. No caso da primeira situação da Figura 04 o anemômetro instalado no mastro recebe um escoamento bastante atenuado pela presença da plataforma à montante da embarcação. Entretanto, o casco e a superestrutura estão sujeitos ao vento quase diretamente, já que o mesmo passa pela estrutura inferior da plataforma. Neste caso, as rajadas não são “sentidas” pelo anemômetro, e o sistema não é capaz de compensá-las.

Já na segunda situação da mesma figura ilustra-se o caso oposto, no qual uma estrutura à montante atenua o vento que atua sobre o casco e superestrutura. O escoamento próximo ao sensor, entretanto, não é sujeito a esta atenuação, e a cada rajada o controlador comanda uma força de compensação no sistema propulsor que efetivamente não existe. O navio então sofre um deslocamento indesejado nestes instantes, compensados em seguida pelos mecanismos de realimentação presentes no controlador. Este efeito representa um consumo desnecessário de energia de controle.

Figura 04: Situações típicas de escoamento aerodinâmico afetado na região próxima ao sensor.



Outro ponto crucial no sensoriamento de ventos relaciona-se à posição de instalação dos anemômetros. Deve-se evitar a proximidade com qualquer outra estrutura que possa afetar o escoamento nas proximidades do sensor. Uma solução é a instalação em pontos elevados, como no mastro principal. Nestes casos, pode ser necessária a introdução de um fator de correção na medida de velocidade através da modelagem da camada limite aerodinâmica, pois o vento tende a soprar mais intensamente conforme se aumenta a altitude.

2.3.3.2.2. Agulha Giroscópica

A fim de analisar o aproamento da embarcação, agulhas giroscópicas são utilizadas. Estes instrumentos náuticos são, essencialmente, giroscópios busca-meridiano, cujo eixo de rotação permanece alinhado com os meridianos terrestres, e que é capaz de oscilar em torno de seu eixo vertical (eixo de precessão ou eixo de indicação de azimute) e de medir o ângulo entre a proa da embarcação e o eixo de rotação do giroscópio, isto é, o rumo verdadeiro da embarcação.

O aproamento é utilizado pelo algoritmo de controle, o qual recebe as informações da agulha giroscópica de forma contínua e automática através de um sistema elétrico, e por alguns sensores de posição para a transformação do sistema de coordenadas.

São necessárias de duas a três agulhas giroscópicas nas embarcações, sendo cada uma ligada de forma independente aos controladores de posicionamento dinâmico e operando simultaneamente, de forma a prover a necessária redundância. O operador pode selecionar uma das agulhas giroscópicas como sendo a referência, ou seja, o sistema de posicionamento dinâmico irá ler o valor de entrada da agulha giroscópica selecionada, enquanto exerce a função de comparação com as demais.

2.3.3.2.3. Sensores de Movimentos Verticais

Estes sensores são fundamentais para que o sistema de controle aplique as correções necessárias às informações recebidas dos sistemas de referência de posição em relação ao offset do centro de gravidade da embarcação.

Em geral, os ângulos de balanço (roll) e caturro (pitch) são medidos por inclinômetros, podendo ser empregados também unidades conhecidas como VRU (Vertical Reference Unit – Unidade de Referência Vertical), enquanto que o movimento de arfagem (heave) é medido por acelerômetros verticais auxiliados por algoritmos de integração, filtragem e correção devido à inclinação do sensor. As unidades responsáveis pela monitoração destes ângulos são chamadas de MRU (Motion Reference Unit – Unidade de Referência de Movimento).

2.3.3.3. Sistema de Referência de Posição

Para que seja possível manter automaticamente a posição da embarcação, seja em local fixo ou predeterminado percurso, exclusivamente pela força de seus propulsores, é necessário que haja um sistema de referência de posição que possuem a função de medir a posição de um ponto da embarcação no plano horizontal. Atualmente, existem muitos e diferenciados sistemas de medição de posição, sendo sua escolha feita levando-se em consideração o tipo de operação ou tarefa a ser realizada pela embarcação, além de analisar também as vantagens e desvantagens de cada sistema. Segundo estatísticas, 75% dos problemas que ocorrem nos sistemas de posicionamento dinâmico se devem a falhas dos sistemas de referência de posição. Em geral, os sistemas de posicionamento dinâmico possuem mais de um sensor de posição independentes, valendo-se desta redundância para obter medidas mais precisas e com maior confiabilidade.

Segundo as diretrizes “Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems” (Diretrizes para Embarcações com Sistema de Posicionamento Dinâmico) aprovadas pelo Comitê de Segurança Marítima da IMO, os sistemas de referência de posição devem cumprir determinados requisitos, dos quais podem ser citados:

- Os sistemas de referência de posição devem ser selecionados levando-se em consideração as necessidades operacionais, tanto no que se diz respeito às restrições pelo modo de implantação, quanto ao desempenho esperado em situações de operação;
- Quando dois ou mais sistemas de referência de posição são necessários, eles não devem ser do mesmo tipo, mas baseados em diferentes princípios e apropriados para as condições operacionais;
- Os sistemas de referência de posição devem gerar dados com adequada precisão para a operação a ser realizada;
- O desempenho do sistema de referência de posição deve ser monitorado e deve estar munido de sistemas de alerta para quando os sinais do sistema estiverem incorretos ou substancialmente degradados.

O sistema de referência de posição pode ser dividido em dois grupos:

- De superfície:
 - DGPS/DARPS;

- Artemis / RADIUS;
- Cyscan / Fanbeam.
- De sub-superfície:
 - Acústico;
 - Tautwire.

2.3.3.3.1. Differential Global Positioning System (DGPS)

O sistema conhecido como GPS (Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global), caracterizado pela utilização de sinais de satélites para obtenção de coordenadas geográficas / topográficas precisas, é, na atualidade, o sistema de posicionamento global mais difundido e utilizado. Porém, o sinal GPS “puro” contém uma série de erros naturais ou aleatórios, decorrentes de diversas causas, dos quais podem ser citados os erros de órbita, erros de propagação, decorrentes de perturbações da atmosfera, e erros do receptor. Estes erros comprometem a precisão do GPS, imprecisão esta que é prejudicial ao Sistema de Posicionamento Dinâmico, uma vez que as operações em que este é empregado requerem precisão de um metro ou menos.

A fim de se obter uma maior precisão do GPS, é utilizada uma técnica de correção diferencial conhecida como DGPS (Differential Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global Diferencial).

Neste sistema, um receptor GPS base, conhecido como Estação de Referência, é instalado em um ponto com coordenadas absolutamente precisas e que recebe os sinais dos mesmos satélites recebidos pelo receptor do usuário. O receptor da Estação de Referência compara, então, as posições informadas pelos satélites, com aquelas que possui armazenadas em um computador acoplado ao receptor. Por diferença, detecta o erro de cada satélite e transmite, geralmente via um sinal de rádio, para o receptor do usuário (receptor diferencial). O receptor do usuário, com capacidade diferencial, recebe, então, dois tipos de sinais: um, fornecido por quatro ou mais satélites (sinal GPS), contendo as informações de distância, ainda com erro relativamente grande; o outro, sinal diferencial, contém as informações dos erros de cada satélite, calculados pela Estação de Referência. Os dois tipos de informação são processados e o resultado é o sinal DGPS, ou seja, o sinal GPS depurado da maior parte de seus erros.

Em sua versão mais comum, a precisão obtida com o GPS Diferencial é de cerca de 1 a 5 metros, podendo, otimizada, chegar a 30 centímetros.

2.3.3.3.2. Differential, Absolute and Relative Positioning System (DARPS)

O DARPS (Differential, Absolute and Relative Positioning System – Sistema de Posicionamento Diferencial e Relativo) é um sistema de referência muito utilizado a bordo, devido à necessidade de requer posicionamento preciso em relação a alvos móveis em determinadas operações em embarcações, uma vez que o DGPS provê posições precisas em relação a alvos fixos. Funciona como sistema de referência relativo que utiliza sinais do GPS, frequência UHF recebida do alvo, sinal SBAS (Satellite-based augmentation system) e informação da agulha giroscópica. A posição relativa das embarcações independe do sinal diferencial, já que os erros são mutuamente anulados. Este sistema possui como função principal aumentar a precisão do posicionamento.

2.3.3.3.3. Artemis

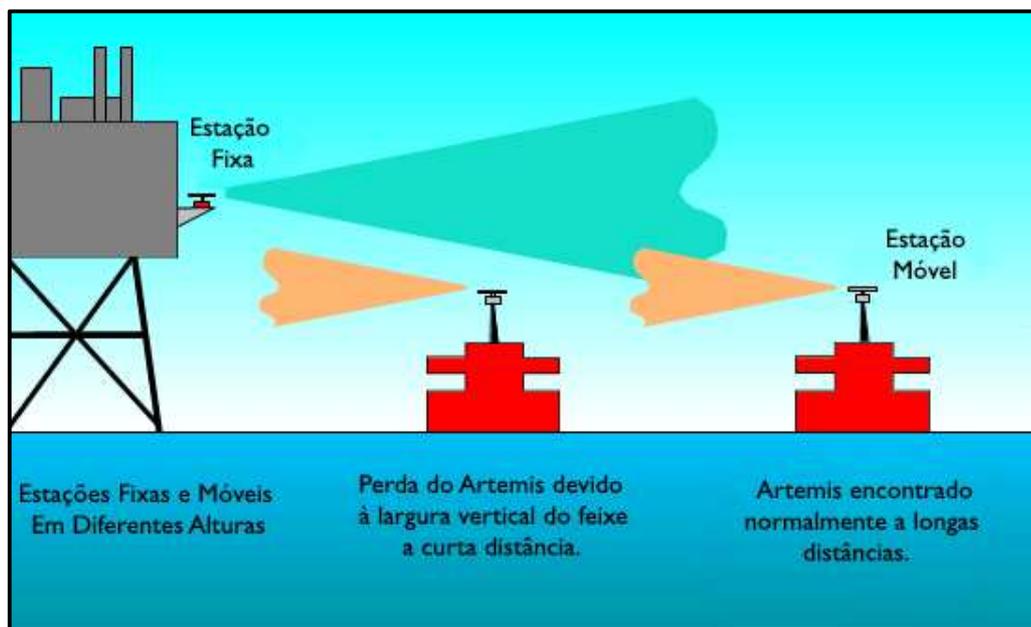
Este sistema envolve duas estações: uma localizada a bordo da própria embarcação DP, conhecida como estação móvel, e outra localizada em algum ponto fixo, conhecida como estação fixa. O sistema obtém a distância e direção de um ponto do navio, onde se encontra a antena direcional móvel, em relação a um ponto fixo no qual é instalada a antena direcional fixa. A antena móvel assemelha-se a um radar que procura a estação fixa com giros de até 360°. Assim que a antena encontra o receptor, ela pára de girar e estabelece-se entre as antenas uma comunicação contínua por microondas de baixa potência, sempre seguindo o alvo em qualquer posição que ele vá, e a distância entre as mesmas é obtida pelo atraso entre o sinal emitido e a sua recepção pela antena móvel.

As antenas possuem um sistema de acompanhamento através do sistema de controle azimutal que mantém o alinhamento entre as mesmas durante a movimentação da embarcação. O ângulo formado pela antena fixa fornece a direção da embarcação, sendo transmitido ao sistema embarcado pelo próprio sinal de comunicação entre as antenas. As alterações da posição da antena móvel decorrentes dos movimentos de balanço (roll) e caturro (pitch) são corrigidas utilizando-se as leituras das Unidades de Referência Vertical (VRU).

Como principais vantagens, podem ser citadas a ampla faixa de funcionamento e grande acurácia e o fato destes sistemas serem independentes da profundidade de lâmina d'água, podendo operar em águas profundas.

Como desvantagens, pode-se citar a necessidade de instalação e manutenção da estação fixa, problemas na comunicação devidos a existência de estruturas entre as antenas além de interferência por outros radares e por reflexão do sinal pela água. Além disso, vale ressaltar que em embarcações offshore este equipamento não será encontrado com facilidade em função da diferença de altura entre o rebocador e a plataforma, já que para que a antena radar do Artemis encontre o receptor (Beacon) a altura entre eles não pode ser grande. A Figura 05 ilustra esta situação.

Figura 05: Estações Artemis fixas e móveis em diferentes alturas.



2.3.3.3.4. RADIUS

Esse sistema é o mais adequado para operação entre embarcações de apoio offshore (PSV, AHTS) e plataformas. Basicamente, é composto de um sistema de transmissor/receptor de ondas de rádio de longo alcance. O receptor fica montado na perna da plataforma e o transmissor fica a bordo. É um sistema que permite operar com múltiplos transponders, pois cada sinal tem uma identidade única, o que torna este equipamento muito bom para ser utilizado em manobras de fornecimento de fluidos pelos PSV.

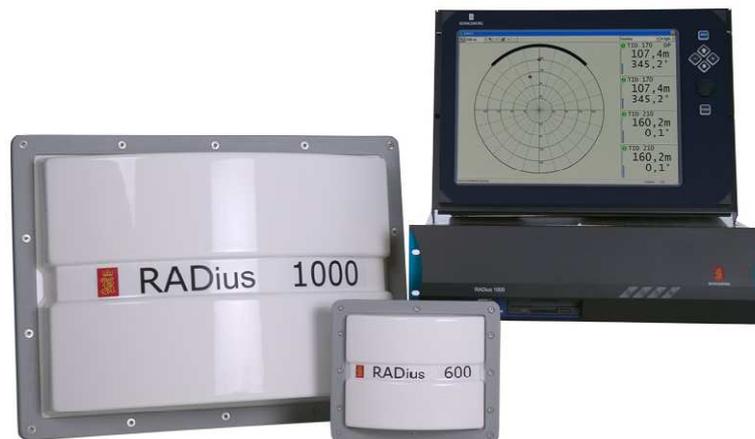
A medição da distância é feita baseado no princípio da FM-CW (Onda de frequência modulada contínua).

Como vantagens deste sistema, pode-se destacar:

- Não possui partes móveis, reduzindo, então, o custo de manutenção;

- Possibilita a operação em qualquer condição meteorológica;
- Como já citado, permite a operação com múltiplos transponders;
- Impossibilita a reflexão por alvos falsos.

Figura 06: Sensor RADius.



Fonte: Kongsberg.

2.3.3.3.5. Sistemas Laser Fanbeam/Cyscan

Os radares óticos são sistemas de localização e rastreamento por laser, visando o posicionamento automático. São compostos por um emissor laser apontado para um refletor instalado em uma estação fixa. O feixe refletido é direcionado a um conjunto de diodos fotossensíveis que produzem um sinal elétrico. A distância entre o refletor e o navio é então calculada pelo tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal. A direção do navio é dado pelo ângulo formado pelo radar, medido por meio de um encoder óptico. As alterações da posição do radar decorrentes dos movimentos de balanço (roll) e caturro (pitch) são corrigidas utilizando-se as leituras das Unidades de Referência Vertical (VRU).

Estes sistemas completam o uso do sistema DGPS e pode também trabalhar como sistema principal quando os sinais do GPS se tornam ineficazes.

Em determinadas situações, sua eficácia é comprometida devido à reflexão do feixe por alvos falsos, obstrução do feixe por perda da linha de visão ou sujeira nas lentes.

Os sistemas Fanbeam e Cyscan possuem o mesmo princípio de funcionamento. Entretanto, o sistema Cyscan permite que sejam usados mais de um refletor.

Figura 07: Sensores Fanbeam e Cyscan, respectivamente.



2.3.3.3.6. Sistemas Hidroacústicos

Uma das aplicações da acústica submarina é o fornecimento de posição de referência com propósitos de posicionamento dinâmico, sendo também amplamente utilizado no rastreamento de veículos ou equipamentos submarinos, para a marcação de características subaquáticas e para o controle de equipamentos submarinos por meio da telemetria acústica.

Basicamente, a determinação da posição da embarcação neste sistema é feita por meio da trilateração, assim como o GPS. Estes sistemas utilizam ondas acústicas que se propagam a partir de transdutores instalados no navio até retransmissores fixos no fundo do mar, conhecidos como transponders, sendo a posição obtida pela diferença de tempo entre os diversos sinais recebidos.

É importante ressaltar que o desempenho deste sistema pode ser prejudicado por perturbações na água. A fim de evitar este problema, procura-se colocar os transponders distantes de hélices e o mais fundo possível.

De acordo com o número de emissores e transponders, os sistemas acústicos obtêm a posição do navio de diversas formas. Existem três tipos de sistemas de referência de posição acústicos de uso comum: Ultra Short Baseline System (USBL) ou Super Short Baseline System (SSBL), Short Baseline Systems (SBL) e Long Baseline Systems (LBL). Cada um possui vantagens e desvantagens que determinam onde e como cada um é utilizado, sendo as classes distintas de acordo com sua linha de base, ou distância entre seus elementos acústicos fixos.

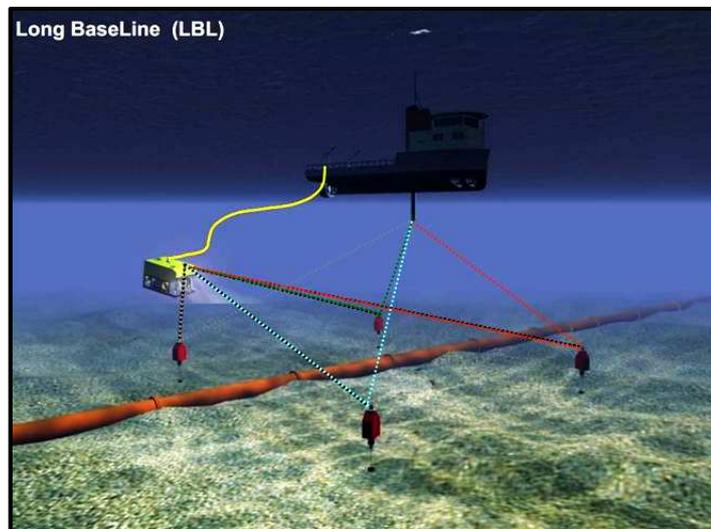
A frequência de trabalho do sistema hidroacústico fica entre 19 e 32 KHz, faixa ideal para transmissão acústica de sinais em meio aquoso conciliando distância e precisão.

2.3.3.3.6.1. Long Baseline System (LBL)

Este sistema é composto por três ou mais transponders instalados no fundo do mar comunicando-se com um transdutor instalado na parte de baixo do casco do navio. A cada intervalo de amostragem, o emissor emite um pulso sonoro que é retransmitido pelos transponders dispostos precisamente no fundo do mar. Os intervalos de tempo em que as ondas acústicas alcançam o transdutor são registrados e a distância entre o mesmo e cada transponder é calculada, permitindo-se obter a posição do navio aos transponders.

Nenhuma medida de ângulo é necessária neste sistema. Sendo assim, uma importante fonte de erro é eliminada: a distorção angular dos sinais de resposta devido ao raio de curvatura ou refração. Este fator, aliado com a grande distância entre os transponders, faz com que este sistema seja considerado o mais preciso dentre os demais sistemas hidroacústicos, além de dispensar o uso das Unidades de Referência Vertical (VRU).

Figura 08: Long Baseline System (LBL).



Dentre as aplicações deste sistema, pode-se citar: sistemas de posicionamento dinâmico para posicionar múltiplos alvos offshore como, por exemplo, sondas de petróleo, grandes navios, em águas com profundidade de até 7000m, e marcação de veículos submarinos autônomos (AUVs) e veículos operados remotamente (ROVs).

Figura 09: Exemplo de aplicação do sistema LBL por equipes de mergulhadores.

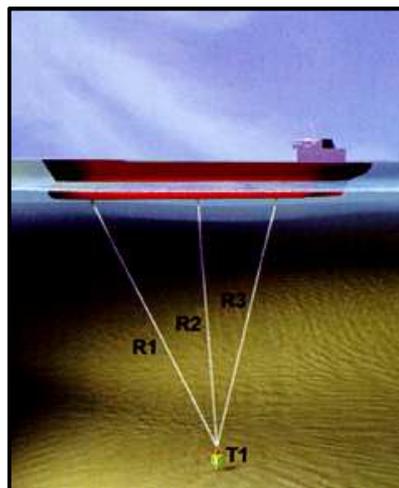


A Figura 09 representa uma equipe de mergulho (Envirotech Diving) com seu sistema de posicionamento acústico subaquático, AquaMap LBL, incluindo três transponders de linha de base e estações de mergulho montados em scooters. As estações base são inicialmente implantadas nos cantos do local de trabalho, sendo suas posições relativas iniciais pesquisadas por DGPS ou com auxílio de um equipamento de posicionamento a laser. Durante uma operação de mergulho, a estação do mergulhador interroga as estações de base para medir as distâncias, as quais são então convertidas em posição.

2.3.3.3.6.2. Short Baseline System (SBL)

Este sistema é composto por um emissor instalado no fundo do mar que emite pulsos acústicos em intervalos de tempo regulares. Tais pulsos são recebidos por três ou quatro transdutores instalados no casco e dispostos adequadamente de forma a permitir o cálculo da posição baseado nos intervalos de tempo entre a emissão do pulso e sua recepção em cada transdutor.

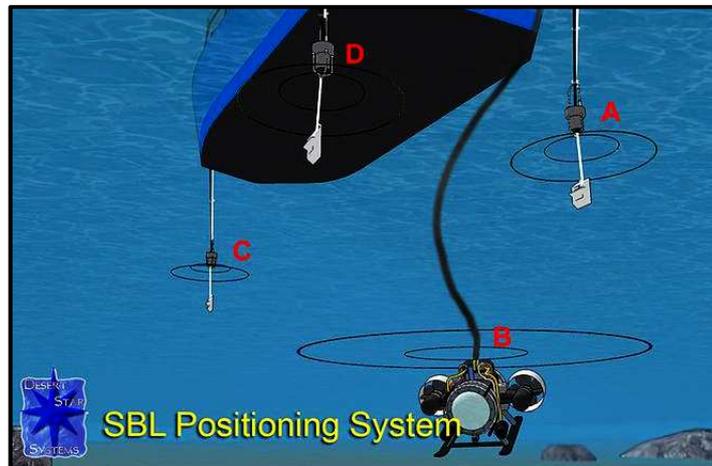
Figura 10: Short Baseline System (SBL).



Como o arranjo de transdutores está situado no casco, correções devem ser introduzidas no cálculo, devido aos movimentos de balanço (roll) e caturro (pitch), utilizando as medidas provenientes dos sensores de movimentos verticais.

Os sistemas SBL não requerem transponders ou equipamentos montados no fundo do mar, sendo então possível empregar esta técnica para rastrear alvos submarinos de barcos ou navios que estão ancorados ou em curso.

Figura 11: Aplicação do sistema SBL no rastreamento de alvos submarinos.



Na Figura 11, o transdutor da linha de base (A) envia um sinal, o qual é recebido pelo transponder (B) no alvo. O transponder responde e a resposta é recebida pelos três transdutores da linha de base (A,C,D). Através da medição do tempo entre a emissão e a recepção do sinal, é possível identificar as distâncias entre os transdutores e o transponder no alvo e, então, realizar a triangulação da posição do alvo. Além disso, é importante ressaltar que as posições resultantes do alvo são sempre relativas à localização dos transdutores da linha de base.

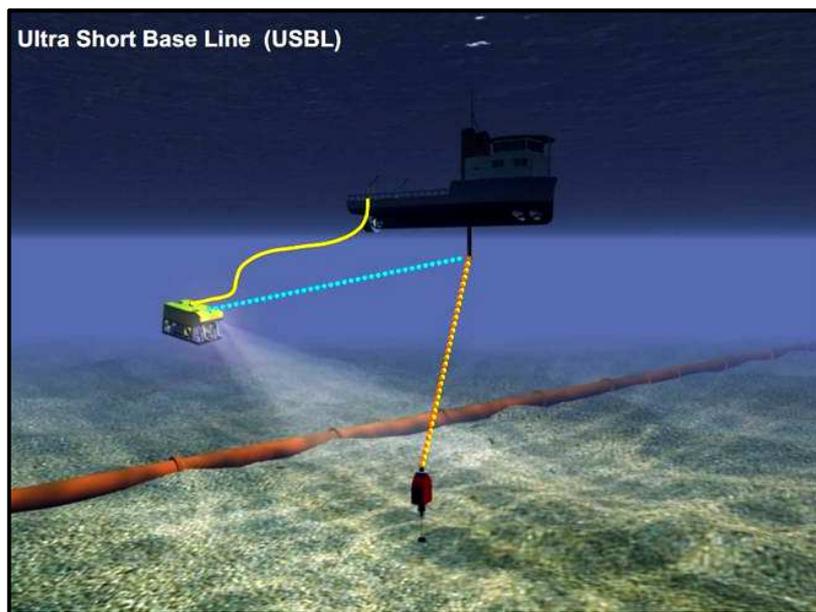
2.3.3.3.6.3. Ultra Short Baseline System (USBL)

O sistema Ultra Short Baseline (USBL), também conhecido como Super Short Baseline Line System (SSBL), baseia-se em um princípio muito similar ao SBL, excetuando-se o fato de que os transdutores são todos construídos em um único corpo. As distâncias são medidas como nos sistemas SBL, entretanto as diferenças de tempo são medidas de maneira mais acurada pelo atraso de fase entre os sinais de acústico senoidais.

Comparado aos demais sistemas, é aquele que apresenta os maiores erros de posicionamento. Isto se deve ao pequeno comprimento das linhas de base e influência dos movimentos de balanço (roll) e caturro (pitch), sendo assim é necessária a utilização das Unidades de Referência Vertical (VRU).

Apesar dos erros apresentados em relação aos demais sistemas hidroacústicos, esta é a técnica mais utilizada devido à sua versatilidade, possuindo muitas outras funções, as quais não estão diretamente ligadas ao DP.

Figura 12: Ultra Short Baseline System (USBL).



2.3.3.3.7. Taut Wire

O Sistema Taut Wire permite diversas configurações. A mais comum é composta por um pequeno guincho instalado na lateral do convés do navio, do qual é lançado um cabo de aço com uma poita na extremidade. Após a âncora tocar o fundo do mar, o cabo é mantido sob tensão constante por um sistema de controle de tração. Qualquer movimento do navio fará com que o fio tensionado se desvia da sua inclinação inicial. Esse movimento ativa potenciômetros montados no sensor instalado no guindaste e produz alterações de sinais analógicos diretamente proporcionais ao desvio da inclinação.

O comprimento do cabo e os ângulos medidos, os quais devem ser limitados devido à proximidade com o casco ou alguma estrutura, definem o deslocamento do ponto onde o guindaste é instalado nas direções de avanço e recuo (surge) ou caimento (sway) do navio. A

fim de aumentar a precisão do sistema, correções devido aos movimentos de balanço (roll) e caturro (pitch) devem ser feitas utilizando-se as medidas das Unidades de Referência Vertical (VRU).

A acurácia deste sistema é pequena, sendo fortemente dependente da profundidade e de outro importante fator: a correnteza. Quanto maior a profundidade, menor será a rigidez do cabo tornando a medida mais suscetível a deformações devido à correnteza. Sendo assim, são admitidas operações até uma profundidade de 300 metros, desprezando-se a deformação do cabo devido a correntezas. Contudo, é possível que se obtenha profundidades maiores para a operação, chegando até a uma profundidade de 500 metros, caso o sistema possua algoritmos de correção, associados a medidores que analisam o perfil da correnteza. Sendo assim, este sistema é utilizado como sensor secundário ou reserva.

Figura 13: Guincho utilizado no Sistema Taut Wire.



Fonte: Wikipedia.

3. CLASSES DE EQUIPAMENTOS PARA EMBARCAÇÕES DP

A Organização Marítima Internacional (IMO – International Maritime Organization), em sua filosofia básica para embarcações dotadas de posicionamento dinâmico, sugere que:

- O Sistema de Posicionamento Dinâmico deve ser totalmente operacional, ou seja, capaz de manter confiavelmente uma embarcação em posição dentro das condições ambientais de projeto, de forma que o desvio máximo da embarcação e a exatidão do sistema de controle de posição não excedam a metade do desvio crítico para o trabalho;
- O sistema de controle de posicionamento dinâmico deve fornecer informações adequadas para os operadores de forma que qualquer alteração no status do controle devido a condições meteorológicas, defeitos no equipamento ou ação do operador seja claramente indicada em local permanentemente guarnecido, no qual seja possível realizar ações corretivas e onde limitações porventura existentes sejam do conhecimento dos respectivos operadores. A indicação deve ser tal que o operador não se engane na avaliação da gravidade e do efeito da mudança de status.
- Limites de trabalho seguros devem ser determinados para cada localização geográfica, condição/intensidade ambiental esperada e tipo de tarefa a ser executada. Esses limites devem considerar todos os modos de falha definidos pela Análise do Modo de Falha e Efeitos e o tempo provável para restaurar o controle da posição, recuperar os mergulhadores, desconectar uma passagem ou riser ou sair de uma área para retornar a uma posição segura, sendo esta definida como aquela na qual o trabalho pode ser interrompido imediatamente sem consequências sérias devido à perda de posição, deixando a embarcação em um estado que permite a retomada das operações após a correção da perturbação. No caso de operações simultâneas ou próximas, devem ser consideradas as falhas em outras embarcações.

Um sistema de posicionamento dinâmico consiste de equipamentos e sistemas atuando de forma conjunta a fim de alcançar uma segura capacidade de manter a posição. Esta segurança necessária é determinada tomando-se como base as consequências da perda da capacidade de manter a posição. Sendo assim, a fim de auxiliar os armadores/operadores de

embarcações e seus clientes a seguirem a filosofia acima citada, a IMO definiu três classes de equipamentos para embarcações dotadas de posicionamento dinâmico, recomendando que as construídas após 1 de julho de 1994 recebam uma classe de equipamento.

As classes de equipamentos das embarcações, necessárias para uma determinada operação, deverá ser acordado entre o armador e o cliente baseado nas análises de risco da consequência da perda de posição. Além disso, a Administração ou Estado costeiro pode decidir a classe de equipamento para a determinada operação.

3.1. Redundância

Antes de serem descritos cada classe de equipamentos, é necessário que seja definido o conceito de Redundância. Redundância pode ser definido como a capacidade de um componente ou sistema de manter ou restaurar sua função após a ocorrência de uma única falha. A redundância pode ser obtida, por exemplo, através da instalação de múltiplos componentes, sistemas ou meios alternativos para a execução da função.

A transferência para o equipamento ou sistema redundante deve ser, na medida do possível, automática e a intervenção do operador deve ser a mínima possível. As falhas em um sistema não devem, de maneira nenhuma, serem transferidas para o sistema redundante.

3.2. Equipamento Classe 1

Nesta classificação, a perda de posição pode ocorrer na eventualidade de uma única falha. O controle de atitude é automático e o controle da posição é automático ou manual. O navio não é redundante.

Figura 14: Equipamento Classe 1.



Fonte: Marine Technologies

3.3. Equipamento Classe 2

A perda de posição não deve ocorrer na eventualidade de uma única falha em qualquer componente ativo ou sistema. Os critérios de falha única incluem:

- Qualquer componente ou sistema ativo (geradores, impulsores, painéis de controle, válvulas controladas remotamente, etc.);
- Qualquer componente normalmente estático (cabos, canalizações, válvulas manuais, etc.) que não esteja corretamente documentado em termos de proteção e confiabilidade.

O controle de atitude é automático e o controle da posição é automático ou manual. O navio possui redundância de sistema e equipamentos.

Figura 15: Equipamento Classe 2.



Fonte: Marine Technologies

3.4. Equipamento Classe 3

Nesta classe, uma falha em um componente ou subsistema da embarcação não pode ocasionar perda de posicionamento, inclusive falhas provocadas por inundação de

compartimentos ou ocorrência de incêndio. Porém, a perda de posição pode ocorrer devido a falhas em quaisquer componentes estáticos como, por exemplo, cabos e dutos. O controle de atitude é automático e o controle da posição é automático ou manual.

Para os equipamentos classe 3, uma falha simples do sistema inclui:

- Os itens anteriormente citados e qualquer componente normalmente estático que pode vir a falhar;
- Todos os componentes em qualquer compartimento estanque, a alagamento ou incêndio;
- Todos os componentes em qualquer uma das subdivisões de incêndio, contra incêndio ou alagamento.

Além das unidades redundantes, situadas em compartimentos separados, um sistema de backup do sistema de controle deve ser utilizado juntamente com os sistemas independentes. Este sistema de backup, o qual não é afetado por falhas ocorridas nos computadores principais, deve estar em um compartimento estanque e a prova de fogo separado por uma anteparada classe A60. Durante uma operação, deve ser atualizado como os computadores principais e estar pronto para ser colocado em operação em uma emergência. A transferência para o computador backup deve ser feita manualmente, sendo que o comando deve estar situado dentro do compartimento especial.

Figura 16: Equipamento Classe 3.



Fonte: Marine Technologies

4. MODOS OPERACIONAIS DE UM SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Dependendo da aplicação, o Sistema de Posicionamento Dinâmico poderá incluir os seguintes modos operacionais:

4.1. Joystick

O modo Joystick permite que o operador controle a embarcação manualmente usando um joystick para controle de posição e aproamento.

4.2. Joystick High-Speed

O modo Joystick High-Speed permite que o operador manobre a embarcação a velocidades normais de cruzeiro ou de manobra.

4.3. Auto Heading

Este modo possibilita manter a posição no aproamento desejado.

4.4. Auto Position

Este modo possibilita a manutenção da posição e do aproamento requerido.

4.5. Mixed Joystick/Auto

O modo Mixed Joystick/Auto permite que o operador controle automaticamente um ou dois dos três graus de liberdade horizontais.

4.6. Follow Target

Este modo possibilita que a embarcação siga automaticamente um alvo móvel.

4.7. Anchor Assist

O modo Anchor Assist fornece assistência dos propulsores quando operando dentro de um padrão de amarração.

4.8. Autopilot

O modo de piloto automático permite que a embarcação guine automaticamente para um rumo pré-definido.

4.9. ROT Pilot

Este modo permite que o operador manobre a embarcação utilizando o controle da taxa de guinada.

4.10. Auto Track

Este modo faz com que a embarcação siga uma derrota específica descrita por uma série de waypoints. Todos os modos de derrota automática são exclusivos para operações marinhas e não devem ser utilizados para navegação.

4.11. Track Line

O modo Track Line permite que a embarcação siga um constante Rumo no Fundo. Assim como o modo Auto Track, este também só deve ser utilizado para operações marinhas e não deve ser utilizado para navegação.

5. COMPETÊNCIAS DO PESSOAL ENVOLVIDO EM OPERAÇÕES DP

No decorrer dos últimos anos, houve uma crescente ênfase global na importância de se utilizar pessoal competente e esta tendência deve continuar.

A fim de estabelecer as competências de cada pessoal envolvido em operações DP de acordo com suas respectivas funções a bordo de embarcações dotadas de posicionamento dinâmico, a International Marine Contractors Association (IMCA) lançou o Guia de Avaliação e Garantia de Competência (IMCA's Competence Assurance & Assessment).

A seguir, estão descritas as competências desejáveis a cada tripulante durante as operações DP.

5.1. Comandante

Competências do Comandante:

- Assumir o comando da embarcação;
- Comando geral de uma embarcação no modo de Posicionamento Dinâmico;
- Gerenciar uma falha no Posicionamento Dinâmico, incluindo uma resposta emergencial;
- Sensibilidade para a segurança: cumprir os requisitos legais e manter a proteção e segurança da tripulação;
- Preparo para emergências: controlar situações críticas e de emergência;
- Fatores humanos: liderança, tomada de decisões e gestão das emoções pessoais e estresse.

5.2. Imediato

Competências do Imediato:

- Encarregar-se dos quartos de serviço de convés e de navegação;
- Assumir o comando da embarcação no modo de Posicionamento Dinâmico;
- Gerir os estágios iniciais de uma falha no posicionamento dinâmico e auxiliar o Comandante em situações de emergência;

- Sensibilidade para a segurança: monitorar o cumprimento dos requisitos legislativos e manter a segurança e proteção da tripulação;
- Preparo para emergências: conhecimento dos procedimentos de emergência e avaliação e controle das situações críticas e de emergência.
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e interpretação das instruções do Comandante e transmitir informações relevantes ao Comandante.

5.3. Oficial de Serviço do Passadiço

Competências do Oficial de Serviço do Passadiço:

- Encarregar-se do quarto de serviço de navegação;
- Assumir o comando da embarcação no modo de Posicionamento Dinâmico;
- Gerir os estágios iniciais de uma falha no posicionamento dinâmico e auxiliar o Comandante em situações de emergência;
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e interpretação das instruções do Comandante;
- Sensibilidade para a segurança: conhecimento da legislação aplicável;
- Preparo para emergências: estar ciente da função em situações de emergência.

5.4. Operador DP

Competências do Operador DP:

- Operar o Sistema de Posicionamento Dinâmico mantendo a embarcação nas condições estipuladas;
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e interpretação das instruções do Comandante e transmitir informações relevantes ao Comandante;
- Sensibilidade para a segurança: monitorar o cumprimento dos requisitos legislativos e checar a aderência aos procedimentos de segurança aprovados;
- Preparo para emergências: conhecimento dos procedimentos de emergência e avaliação e controle das situações críticas e de emergência.

5.5. Operador de Lastro

Competências do Operador de Lastro:

- Controlar as operações de lastro;
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e interpretação das instruções do Comandante e transmitir informações relevantes ao Comandante;
- Sensibilidade para a segurança: familiaridade com os requisitos legislativos e checar a aderência aos procedimentos de segurança aprovados;
- Preparo para emergências: conhecimento dos procedimentos de emergência e avaliação e controle das situações críticas e de emergência.

5.6. Chefe de Máquinas

Competências do Chefe de Máquinas:

- Responsável por manter a embarcação de acordo com a Classe e legislação legal;
- Encarregado geral da planta geral do Posicionamento Dinâmico e dos bens informáticos associados;
- Gerir os estágios mecânicos/elétricos de uma falha no Posicionamento Dinâmico e supervisionar o restabelecimento dos sistemas DP;
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e interpretação das instruções do Comandante;
- Sensibilidade para a segurança: familiaridade e monitoramento do cumprimento dos requisitos legislativos, checar a aderência aos procedimentos de segurança aprovados e manter a segurança e proteção dos tripulantes maquinistas;
- Preparo para emergências: conhecimento dos procedimentos de emergência e avaliação e controle das situações críticas e de emergência.

5.7. Maquinista Encarregado do Quarto de Serviço

Competências do Maquinista encarregado do quarto de serviço:

- Tomar conta do quarto de serviço de máquinas;

- Monitorar as máquinas;
- Responder às falhas mecânicas/elétricas no posicionamento dinâmico;
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e de comunicar informações técnicas;
- Sensibilidade para a segurança: familiaridade com os requisitos legislativos e aderência aos procedimentos de segurança;
- Preparo para emergências: conhecimento dos procedimentos de emergência e avaliação e controle das situações críticas e de emergência.

5.8. Rádio Operador

Competências do Rádio Operador:

- Encarregar-se do serviço de quarto de rádio;
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e interpretação das instruções do Comandante e transmitir informações relevantes ao Comandante;
- Sensibilidade para a segurança: familiaridade com os requisitos legislativos e checar a aderência aos procedimentos de segurança;
- Preparo para emergências: conhecimento dos procedimentos de emergência e conhecimento da função dos serviços de rádio em uma emergência.

5.9. Eletricista

Competências do Eletricista:

- Operar e manter a central elétrica e auxiliares elétricos de forma a garantir a operação segura e eficiente da embarcação;
- Monitorar as máquinas;
- Responder à falha mecânica/elétrica no posicionamento dinâmico;
- Fatores humanos: habilidades de comunicação e de comunicar informações técnicas;
- Sensibilidade para a segurança: familiaridade com os requisitos legislativos e aderência aos procedimentos de segurança;
- Preparo para emergências: conhecimento dos procedimentos de emergência e avaliação e controle das situações críticas e de emergência.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho detalhou de forma precisa o funcionamento do Sistema de Posicionamento Dinâmico e também descreveu as competências desejáveis para o pessoal a bordo das tripulações dotadas deste sistema.

A característica fundamental dos sistemas de posicionamento dinâmico (SPD) é a integração de um grande número de subsistemas operando de forma conjunta. Na ocorrência de falha de qualquer um deles, o sistema todo é comprometido, o que implica a perda de posição e aproamento por parte da embarcação. As conseqüências desta ocorrência são, em geral, gravíssimas, devido à possibilidade de choques entre embarcações e rompimentos de linhas e dutos, o que pode levar a interrupções de operações de altíssimo custo, desastres ambientais e, até mesmo, perdas de vidas humanas.

Sendo assim, conforme se aumenta o grau de risco e precisão das operações, surge a necessidade de se ter pessoal altamente capacitado a bordo das embarcações dotadas de posicionamento dinâmico e que possuam competências específicas, das quais se destacam: o total domínio do sistema e a capacidade de tomar decisões coerentes em situações de emergência.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, Adriana Cavalcante. **Controle por Modos Deslizantes Aplicado a Sistema de Posicionamento Dinâmico**. São Paulo, 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle.

DA SILVA, Alfredo M. G. O. **Sistema de Posicionamento Dinâmico**. Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante – EFOMM. Rio de Janeiro, 2008.

EDUARDO, Luiz. **Projeto do Navio**. Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/LuizEduardo/relat1/>. Acesso em: 22 jun. 2012.

INTERNATIONAL MARINE CONTRACTORS ASSOCIATION. **Competence Assurance and Assessment – Guidance Document and Competence Tables**. Disponível em: <<http://www.imca-int.com/documents/publications.html>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

INTERNATIONAL MARINE CONTRACTORS ASSOCIATION. **Guidelines for the Design and Operation of Dynamically Positioned Vessels**. Disponível em: <<http://www.imca-int.com/documents/publications.html>>. Acesso em: 31 jul. 2012.

INTERNATIONAL MARINE CONTRACTORS ASSOCIATION. **Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems**. Disponível em: <<http://www.imca-int.com/documents/publications.html>>. Acesso em: 25 jun. 2012.

INTERNATIONAL MARINE CONTRACTORS ASSOCIATION. **The Training and Experience of Key DP Personnel**. Disponível em: <<http://www.imca-int.com/documents/publications.html>>. Acesso em: 31 jun. 2012.

JORGE, Sara da Silva. **Sistema de Posicionamento Dinâmico: Modelação e Construção de Hélice em Escala Reduzida Através de Usinagem de Alta Precisão e Estudo Comparativo entre Simuladores**. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Rio de Janeiro, 2006.

JÚNIOR, Márcio D. M. **Modelo de Controlador LQG/LTR com Filtro de Kalman com Dinâmica Aumentada Aplicado a Sistemas de Posicionamento Dinâmico de Estruturas Oceânicas**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

KONGSBERG. **Kongsberg Maritime**. Disponível em: <<http://www.km.kongsberg.com/>>. Acesso em: 04 ago. 2012.

PEREIRA, Sidnei E. **Estabilidade para Embarcações Mercantes**. Rio de Janeiro, 2011.

TANNURI, Eduardo Aoun. **Desenvolvimento de Metodologia de Projeto de Sistema de Posicionamento Dinâmico Aplicado a Operações em Alto-Mar**. São Paulo, 2001. 273p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

TANNURI, Eduardo Aoun. **Sistemas de Posicionamento Dinâmico: Projeto, Análise e Novos Desenvolvimentos**. São Paulo, 2009. Texto sistematizado de pesquisa (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos.