

MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

LUCAS TERRA DE MORAES LEAL

SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DO POSICIONAMENTO DINÂMICO

RIO DE JANEIRO

2015

LUCAS TERRA DE MORAES LEAL

SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DO POSICIONAMENTO DINÂMICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador (a): 1T (T) Priscila

RIO DE JANEIRO

2015

LUCAS TERRA DE MORAES LEAL

SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DO POSICIONAMENTO DINÂMICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: 1T (T) Priscila

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus avós por me apoiarem e fornecerem meios de conquistar um espaço nesta profissão tão brilhante que escolhi seguir.

Aos meus pais que sempre mostraram interesse em minhas escolhas e fizeram o máximo para participar.

Aos amigos e professores que colaboraram fornecendo materiais e conselhos para elaboração deste trabalho.

A minha orientadora que fez de todo o possível para me guiar na construção deste trabalho.

O mar não recompensa aqueles que são muito ansiosos, muito gananciosos, ou muito impacientes. Deve-se estar vazio, aberto, sem escolha como uma praia - à espera de um presente do mar.

(ANNE MORROW LINDBERGH)

## **RESUMO**

A elaboração deste trabalho tem por objetivo mostrar as características e uma visão mais técnica dos equipamentos e aparelhos utilizados no sistema de posicionamento dinâmico, assim como peculiaridades operacionais interessantes para o conhecimento do profissional marítimo, visto que o posicionamento dinâmico está cada dia mais usado e mais aperfeiçoado nas plataformas e embarcações, principalmente aquelas que operam na área do petróleo.

## **ABSTRACT**

The preparation of this work aims to show the features and a more technical view of the equipment and devices used in the dynamic positioning system, as well as interesting operational peculiarities to the knowledge of the maritime professional. The dynamic positioning system is every day, more used and more improved on the platforms and vessels, particularly those operating in the oil sector.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Graus de liberdade	13
Figura 2: Variados esquemas de <i>Multipoint Mooring System</i>	15
Figura 3: Localização comum dos diversos propulsores	16
Figura 4: Posicionamento com âncoras e propulsores	17
Figura 5: Disposição mínima dos propulsores	18
Figura 6: Outras disposições comuns	19
Figura 7: Equipamento classe 1 da Alstom	32
Figura 8: Equipamento classe 2 da Alstom	33
Figura 9: Equipamento classe 3 da Alstom	34



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DP	<i>DYNAMIC POSITIONING</i>
PME	<i>POSITION MEASURING EQUIPMENT</i>
VRS	<i>VERTICAL REFERENCE SENSOR</i>
VRU	<i>VERTICAL REFERENCE UNIT</i>
MRU	<i>MOTION REFERENCE UNIT</i>
GPS	<i>GLOBAL POSITIONING SYSTEM</i>
DGPS	<i>DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM</i>
LBL	<i>LONG BASE LINE</i>
SBL	<i>SHORT BASE LINE</i>
USBL	<i>ULTRA SHORT BASE LINE</i>
LUSBL	<i>LONG AND ULTRA SHORT BASE LINE</i>
ROV	<i>REMOTELY OPERATED VEHICLE</i>
JSMH	<i>JOYSTICK MANUAL HEADING</i>
JSAH	<i>JOYSTICK AUTO HEADING</i>
FMEA	<i>FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS</i>
IMO	<i>INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION</i>

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 GRAUS DE LIBERDADE	13
2.1 FORÇAS DO AMBIENTE	14
2.2 FORÇAS CONTRÁRIAS	15
2.3 CONFIGURAÇÃO DOS THRUSTERS	17
3 TIPOS DE THRUSTERS	20
3.1 HÉLICES E LEMES	20
3.2 <i>TUNNEL THRUSTERS</i>	21
3.3 PROPULSORES AZIMUTAIS	21
3.4 CICLOIDAIS	21
4 SENSORES	22
4.1 AGULHA GIROSCÓPICA	22
4.2 VRU/MRU/VRS	22
4.3 ANEMÔMETRO	23
4.4 ODÔMETRO <i>DOPPLER</i>	23
5 SISTEMAS DE REFERÊNCIA DE POSIÇÃO E EQUIPAMENTOS (PME)	25
5.1 <i>TAUT WIRE</i>	26
5.2 SISTEMAS RÁDIO	27
5.2.1 ARTEMIS	27
5.2.2 DGPS	27
5.3 HIDRO ACÚSTICO	28
5.3.1 LBL	29
5.3.2 SBL	29
5.3.3 USBL	30
5.3.4 LUSBL	30
5.4 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)	30
5.5 SISTEMAS LASER	31
5.5.1 CYSCAN	31
5.5.2 FANMBEAM	31
6 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DP	32
7 MODOS OPERACIONAIS DO SISTEMA DP	35

7.1 JOYSTICK MANUAL HEADING (JSMH)	35
7.2 JOYSTICK AUTO HEADING (JSAH)	35
7.3 DYNAMIC POSITIONING (DP)	36
7.4 DYNAMIC POSITIONING, MINIMUM POWER	36
7.5 REMOTELY OPERATED VEHICLE FOLLOW (ROV FOLLOW)	36
7.6 AUTO TRACK	36
7.7 AUTO PILOT	37
7.8 AUTO SAIL	37
7.9 AUTO SPEED	37
7.10 SHUTTLE TANKER PICKUP	37
7.11 SHUTTLE TANKER APPROACH	37
7.12 SHUTTLE TANKER LOADING	37
7.13 RISER FOLLOW	38
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40

## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema de Posicionamento Dinâmico está cada vez mais ganhando espaço nas embarcações e plataformas devido a sua grande capacidade de manobrar precisamente e facilitar o trabalho da tripulação. Nas atividades do meio offshore este sistema se faz indispensável para segurança das operações de exploração de petróleo.

O Sistema de Posicionamento Dinâmico é conhecido internacionalmente pela sigla (DP) *Dynamic Positioning*, o nome em inglês do sistema. O propósito básico do posicionamento dinâmico é o controle automático da posição e do aproamento do navio, da plataforma e de qualquer outra embarcação que possua o Sistema DP.

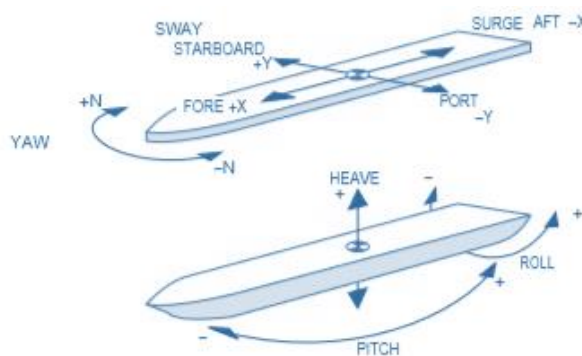
O Sistema DP é uma combinação de um Sistema de Controle de Posição e de um Sistema de Controle de Aproamento. Sistema de Controle de Posição usa os equipamentos de monitoramento de posição da embarcação, conhecido como (PME), e os comandos do operador como dados para operar os diversos propulsores e manter a posição da embarcação no local desejado. O Sistema de Controle de Aproamento usa a agulha giroscópica da embarcação para manter a direção da proa, em resposta às forças externas exercidas pelo ambiente.

## 2 GRAUS DE LIBERDADE

Um corpo flutuante irá se movimentar horizontal e verticalmente de acordo com as forças que agem sobre ele, e para conseguir manter uma posição mais exata possível, esse corpo precisa exercer forças contrárias às forças que agem sobre ele.

A embarcação pode se mover em três planos. Para o Sistema DP interessa apenas o controle no plano horizontal. Contudo, é necessário monitorar o movimento nos outros planos e monitorar o vento, para ser capaz de fazer correções no PME e nas leituras dos sensores. Na figura 1 localizada abaixo, pode-se observar as nomenclaturas dos movimentos que uma embarcação efetua, e suas devidas traduções e breves características na tabela 1.

**Figura 1:** Graus de liberdade



Fonte: *Alstom DP Operator Guide*

**Tabela 1**

Eixo do Movimento	Direção Positiva	Sistema de Coordenada	Uso no DP
<i>Surge</i> (Avanço e Recuo)	<i>Forward</i> (Avante)	X	<i>Position Control</i>
<i>Sway</i> (Abatimento)	<i>Starboard</i> (Boreste)	Y	<i>Position Control</i>
<i>Yaw</i> (Cabeceio)	<i>Clockwise</i> (Horário)	Z	
<i>Heave</i> (Arfagem)	<i>Upwards</i> (Para Cima)	Z	
<i>Pitch</i> (Trim)	<i>Bow Down</i> (Proa para baixo)		Compensação para o Ecobatímetro
<i>Roll</i> (Balanço)	<i>Starboard Down</i> (Boreste para baixo)		Compensação para o Ecobatímetro

Os eixos de movimento são os tradicionais nomes dos graus de liberdade. A direção é o termo de navegação que identifica a direção do movimento. O sistema de coordenada é o modo em que o termo de navegação é descrito para o computador. O sistema de controle do DP usa essas coordenadas.

## 2.1 FORÇAS DO AMBIENTE

As forças atuantes na embarcação são as forças do ambiente, incluindo vento, corrente e ondas, e forças consequentes dos equipamentos da embarcação como cabos, âncoras, cabos de reboque, mangueiras de incêndio. É importante notar que as forças do ambiente são muito variáveis.

Forças do Ambiente:

### -Vento

Velocidade e direção do vento estão constantemente variando. A Força do vento pode ser definida por três componentes, avanço, abatimento e cabeceio. Para ser significativo, o ponto de aplicação das forças deve ser definido. A velocidade do vento varia em função da altura acima da linha d'água, porém acima de 3-5 metros da altura da embarcação, a variação é pequena. As forças atuantes são muito dependentes do formato da estrutura da embarcação (a parte acima da linha d'água), e a direção do vento relativa à mesma. Vento é usualmente medido em nós ou metros/segundo, e a direção em relação ao norte da embarcação. Um vento de norte, por exemplo, move a embarcação de norte para sul.

### -Corrente

A corrente pode ser causada por um declive no fundo do mar, correntes de maré ou corrente de retorno proveniente de uma tempestade. Uma corrente no mar pode ser provocada também pelos ventos. Pode ser causada por aquecimento e resfriamento e salinidade. O efeito é de somente alguns nós, e normalmente a variação é pequena em horas e dias. O efeito da corrente na embarcação é uma característica de seu formato. Corrente de norte, por exemplo, move a embarcação de sul para norte.

### -Ondas e *Swell*

O que mais afeta o funcionamento do DP não é a onda propriamente dita e sua

altura, mas o sistema de ondas formado em uma região através da incidência de vento na superfície da água, que viaja até a costa, chamado de *swell*.

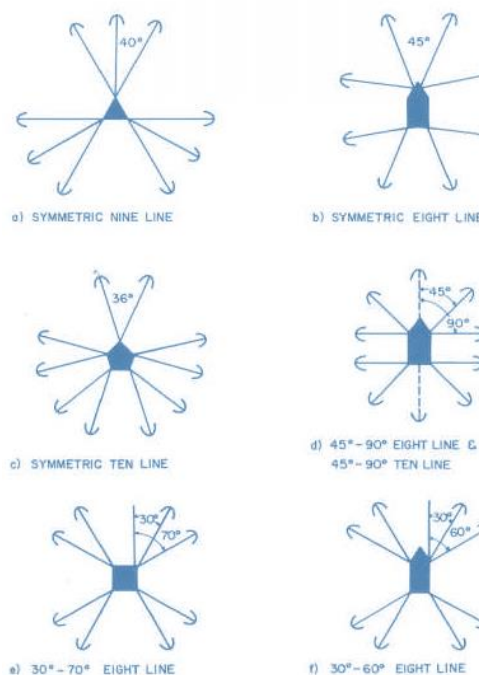
## 2.2 FORÇAS CONTRÁRIAS

Mover-se de um ponto a outro, ou permanecer estático, requer muitos equipamentos que permitam produzir uma combinação controlada de forças. Os equipamentos tradicionais incluem âncoras, propulsores, lemes e outros.

### - Sistemas de Posicionamento Estático

Utiliza-se somente de âncoras. Conhecido também por *Multipoint Mooring System* ou *Spread Mooring System*. Alterando o comprimento das amarras das âncoras, é possível um controle limitado da embarcação. Mover as âncoras não é tarefa das mais práticas. As âncoras formam um padrão elástico onde a embarcação se posiciona no meio, e as forças são balanceadas, como pode ser notado na figura 2. O uso desse sistema é dependente direto da profundidade da região, e seu custo cresce proporcionalmente com a profundidade.

**Figura 2:** Variados esquemas de *Multipoint Mooring System*



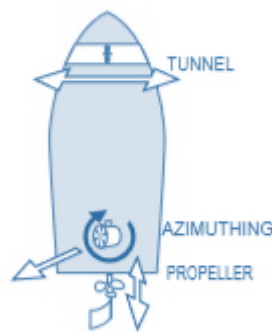
- Sistema de Posicionamento Dinâmico

Usa a combinação de propulsores, *thrusters* e lemes.

- *Thrusters*

A palavra *thruster* não possui uma tradução direta para a língua portuguesa, o que torna difícil chamar de propulsor apenas. São de vários tipos que podemos especificar da seguinte maneira. O *propeller*, que conhecemos como hélice da embarcação, geralmente um propulsor grande que move a embarcação a vante e a ré, e com o uso de um leme proporciona-se o direcionamento dessa força para bombordo e boreste. Os *tunnel thrusters* que são propulsores menores colocados transversalmente no casco da embarcação e possibilitam o deslocamento do navio lateralmente. Propulsores azimutais conseguem girar 360° e gerar força para qualquer direção, geralmente são instalados mais de um desses propulsores para obtenção de maior capacidade de controle. Na figura 3 podemos observar os principais tipos de equipamentos de propulsão utilizados.

**Figura 3:** Localização comum dos diversos propulsores



Fonte: *Guide to dynamic positioning of vessels*

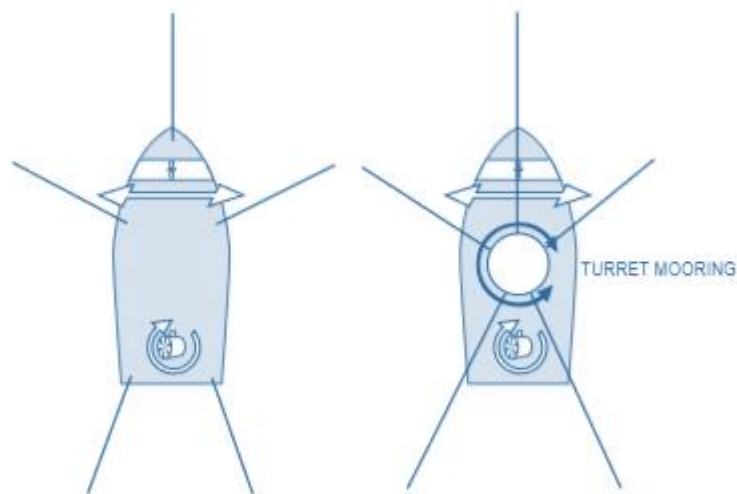
- Âncoras e *thrusters*

Existem duas configurações em que âncoras e propulsores trabalham juntos, e a diferença está em como as âncoras são conectadas à embarcação. Na configuração mais simples, as amarras das âncoras são conectadas diretamente às extremidades da embarcação na proa, popa e nas bochechas. Os propulsores são usados para aumentar a capacidade de controle da posição.



A segunda configuração é o *turret mooring* ou em português Torre de Amarração/Ancoragem. As amarras das âncoras são conectadas à torre e a embarcação pode girar livremente em torno da torre. Nessa configuração os propulsores são utilizados principalmente para direcionamento da proa da embarcação, e posteriormente reduzindo a carga de trabalho das amarras e das âncoras. Em situações de ventos mais fortes, a embarcação irá alinhar sua proa com o vento. Contudo, com ventos mais fracos, a embarcação vai oscilar em volta da torre, o que pode ser um problema se a embarcação estiver conectada a um navio aliviador por exemplo. Os propulsores podem ser usados para impedir essa oscilação da direção da proa, e prover um aproamento constante. Para essas configurações combinadas, tanto podem ser usados *tunnel thrusters* como propulsores azimutais. Para máxima eficiência, os propulsores devem ficar o mais afastado possível da torre. Na figura 4, podemos observar como funciona cada um dos métodos citados acima.

**Figura 4:** Posicionamento com âncoras e propulsores



Fonte: *Guide to dynamic positioning of vessels*

### 2.3 CONFIGURAÇÃO DOS THRUSTERS

Como já mencionado anteriormente neste trabalho, o sistema de posicionamento dinâmico e o controle do aproamento das embarcações se utiliza de eixos para controlar a posição. Existem diversos tipos de configuração dos *thrusters* onde cada embarcação possui sua própria característica, porém três configurações básicas valem ser destacadas, que controlam a embarcação em três eixos, denominados X, Y e N. A grande maioria das embarcações possui número de

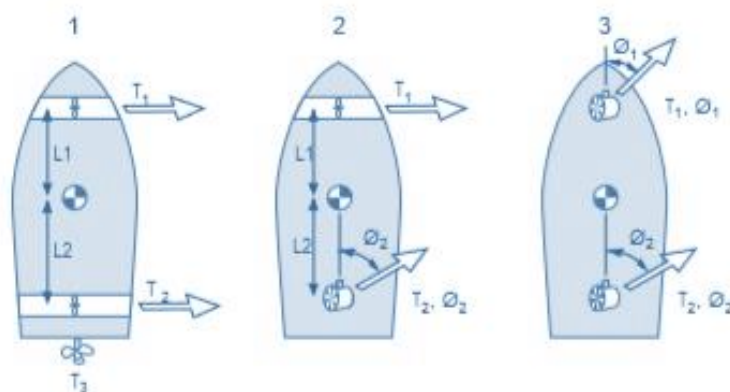
*thrusters* além do mínimo, assim possibilitando redundância do sistema e opções de controle para economizar energia e combustível, ou controle mais apurado da posição.

As configurações mínimas são as que seguem:

- Dois *tunnel thrusters* e um hélice
- Um *tunnel thruster* e um propulsor azimutal
- Dois propulsores azimutais

O objetivo é o controle independente de cada eixo para obter o melhor controle possível da embarcação. Na figura 5 pode-se ter uma visão clara da disposição dos *thrusters* de cada configuração básica, e para efeitos de curiosidade, uma amostra das fórmulas utilizadas na determinação das forças de cada configuração.

**Figura 5:** Disposição mínima dos propulsores



Fonte: *Guide to dynamic positioning of vessels*

Para a configuração 1:

$$X = T_3$$

$$Y = T_1 + T_2$$

$$N = T_1 L_1 - T_2 L_2$$

Os valores de  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  são descobertos nas equações acima. O mesmo procedimento é usado para a configuração 2.

$$X = T_2 \cos \theta_2$$

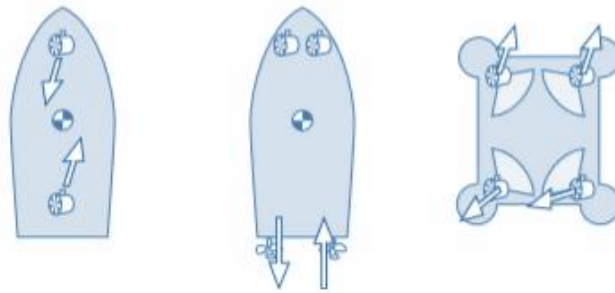
$$Y = T_1 + T_2 \sin \theta_2$$

$$N = T_1 L_1 - T_2 L_2 \sin \theta_2$$

A configuração 3 possui equações desconhecidas, o que permite criação das mesmas de acordo com a necessidade de cada embarcação, permitindo que sejam criadas diversas opções para economia de combustível e uso eficiente dos propulsores.

Outras configurações de *thrusters* com múltiplos propulsores que provém redundância e condições operacionais extras serão exemplificadas visualmente a seguir de acordo com a figura 6. Por exemplo, os propulsores podem ser voltados um para o outro visando um movimento vagaroso e controlado da embarcação. Dois hélices, um em cada bordo, podem ser usados para exercer propulsão a vante e a ré ao mesmo tempo. O terceiro exemplo é uma plataforma semi-submersível, com quatro propulsores azimutais. Permitem o controle da plataforma de infinitas maneiras.

**Figura 6:** Outras disposições comuns



Fonte: *Guide to dynamic positioning of vessels*

### 3 TIPOS DE *THRUSTERS*

Neste capítulo serão brevemente expostos os principais tipos de equipamentos propulsores, que foram mencionados no capítulo anterior, porém sem nenhum comentário muito aprofundado sobre suas características e particularidades. Dentre os propulsores, podem ser destacados os seguintes:

- Hélices e Lemes
- *Tunnel Thrusters*
- Propulsores Azimutais
- Cicloidais

#### 3.1 HÉLICES E LEMES

Hélices são o método mais tradicional de propulsão usados pelas embarcações. São instalados nas embarcações, geralmente, de duas maneiras: um hélice único ou dois hélices, um em cada bordo da embarcação. O controle da propulsão se dá das seguintes maneiras:

- *Fixed Pitch Propeller*

Com o hélice de passo fixo, a propulsão é controlada variando a velocidade de rotação do hélice.

- *Controllable Pitch Propeller*

Com o hélice de passo controlável, a propulsão é controlada variando o passo do hélice, enquanto a velocidade de rotação continua a mesma.

Pode ser usado o controle de passo e de velocidade para maior eficiência possível do sistema. Controlar o passo do hélice, ou seja, a angulação das suas pás, pode se tornar algo muito complexo e sujeito a falhas inesperadas. Esse tipo de hélice deve ser usado com extrema precaução e atenção para essas falhas não ocorrerem. O controle da angulação da pá permite que o hélice gere propulsão a vante e a ré, sem que o sentido da rotação do hélice seja alterado. Todavia, devido à efeitos de casco e formato das pás, a propulsão gerada no sentido contrário é reduzida de 40-60% em relação à propulsão gerada no sentido normal.

Lemes proporcionam o direcionamento angular da propulsão gerada pelo hélice, permitindo o navio guinar para os bordos. Para esse conjunto de hélice e leme

ser eficiente em velocidades baixas, o leme deve ser posicionado logo atrás do hélice, para receber a descarga de água gerada. Um leme central com hélices nos bordos é de nenhuma eficácia para operação precisa necessária pelo sistema DP. Os lemes não proporcionam propulsão eficiente lateralmente.

### **3.2 TUNNEL THRUSTERS**

Propulsores colocados na proa e/ou popa da embarcação, que permite a mesma se movimentar lateralmente, fazer movimentos de rotação no próprio eixo e ainda guinar a proa ou popa individualmente. Esse tipo de propulsor utiliza hélices de passo fixo e de passo controlável. São eficazes somente em velocidades muito baixas, em torno de 2 nós. Quanto maior o túnel em que se encontra o propulsor, menor a propulsão gerada por ele. Eles podem ser instalados sozinhos ou em grupo, podendo ter diversas configurações, como por exemplo três na proa e dois na popa, entre outras. Para a máxima eficiência desses propulsores, eles devem ser posicionados o mais abaixo da linha d'água possível. O ideal é que fiquem 1,5 vezes o seu diâmetro abaixo da linha d'água. Um *tunnel thruster* posicionado logo à frente de um propulsor principal, como um hélice, é ineficaz.

### **3.3 PROPULSORES AZIMUTAIS**

São capazes de girar 360° e controlar tanto a magnitude quanto a direção da descarga de água gerada por ele. São geralmente de dois tipos, os fixos e os retráteis. Eles são posicionados para que interfiram o mínimo possível entre si, e para que não toquem o fundo.

### **3.4 CICLOIDAIS**

Os propulsores cicloidais são a grande novidade no mundo marítimo, e chegaram impactando com sua maneira inovadora de geração de propulsão. Consiste de quatro ou mais pás giratórias fixadas perpendicularmente à uma estrutura rotativa. São instalados abaixo do casco e sujeitos a serem danificados em regiões rasas. O propulsor cicloidal tem seu eixo de rotação entrando verticalmente na água, ao contrário de um hélice comum por exemplo, cujo eixo é paralelo à embarcação. As pás são controladas para que exerçam propulsão para diversas direções, e não há necessidade de modificar a direção de todo o propulsor, apenas a angulação de ataque das pás.

## 4 SENSORES

Os sensores de uma embarcação, para o uso no DP, consistem em:

- Agulha Giroscópica para rumo
- (VRU) / (MRU) / (VRS) para movimentos da embarcação, como balanço e caturro
- Anemômetro para direção e velocidade do vento
- Odômetro Doppler para velocidade da embarcação

### 4.1 AGULHA GIROSCÓPICA

A agulha giroscópica é usada para aproamento da embarcação e é necessária para realizar comandos diversos que envolvem coordenadas de latitude e longitude. É uma bússola que identifica o norte verdadeiro utilizando eletricidade, volantes de inércia girando em alta velocidade, atrito ou outras forças a fim de explorar leis básicas da física e da rotação da Terra.

### 4.2 VRU/MRU/VRS

Como já abordado anteriormente neste trabalho, são três as forças ambientais principais que fazem com que o navio se mova para fora de sua posição e/ou direcionamento da proa. São as forças criadas pelo vento, ondas e corrente.

O sistema de controle DP não fornece compensação ativa direta para ondas. Na prática, a frequência das ondas é tal que não é confiável fornecer compensação para ondas individual e as forças são muito elevadas. Os movimentos balanço, caturro e arfagem de uma embarcação não são compensados para o sistema de controle DP, mas é necessário ao sistema de controle DP ser alimentado com valores precisos de balanço e caturro. Isto é para permitir que a compensação seja aplicada a todos os vários sensores de entrada de posições de referência para ajustes a partir do centro de gravidade do navio.

Instrumentação para medir estes valores é fornecido na forma de sensor de referência vertical (VRS – *Vertical Reference Sensor*), unidade de referência vertical (VRU – *Vertical Reference Unit*) ou uma unidade de referência de deslocamento (MRU – *Motion Reference Unit*). A MRU mede acelerações com o uso de acelerômetros lineares e calcula os ângulos de inclinação.

Um desenvolvimento recente é a provisão de um sistema que utiliza dois ou mais receptores DGPS com antenas montadas a uma certa distância entre si. O GPS

fixa e os sensores de movimento fornecem dados de uma posição do navio, direcionamento da proa, balanço, caturro e valores de arfagem. Isto é capaz de fornecer uma posição de referência e direcionamento da proa bem como movimento em e sobre cada eixo.

### **4.3 ANEMÔMETRO**

O anemômetro é um aparelho que mede a direção e velocidade do vento. Vento é o elemento que mais interfere no comportamento de uma embarcação. A velocidade do vento e a direção são usados para aumentar o controle da posição, a partir da modificação dos propulsores. As funções principais do anemômetro são prevenir a deriva de embarcações grandes que devem permanecer estacionárias, como uma plataforma ou um navio aliviador, e manter controle para casos de ventos fortes.

Os sensores de velocidade e de direção são separados. O sensor de velocidade mede a velocidade instantânea do vento, através de uma hélice, ou de copos. Podem medir velocidades de até 60 metros/segundo, e rajadas de vento de até 100 metros/segundo. A medição mínima é em torno de 1 metro/segundo e a precisão de mais ou menos 0,3 metros/segundo.

Direção do vento é medida por um aparato que gira de acordo com o vento e precisa de energia para funcionar. A precisão é de mais ou menos 3°. Os anemômetros devem ser instalados com cuidado para não ficarem em áreas de sombra devido à estrutura do navio. Um anemômetro deve ficar a no mínimo 10 metros de qualquer mastro ou estrutura que possa interferir. Área de heliponto é um grande problema para o anemômetro, pois o vento forte gerado pelo helicóptero altera drasticamente a medição e operação do aparelho.

### **4.4 ODÔMETRO DOPPLER**

Mede a velocidade da embarcação em relação ao fundo do mar. Usa o efeito *doppler* das ondas sonoras geradas por uma fonte. A faixa de operação deste odômetro é de 1 metro até 600 metros de profundidade. Sua operação não é afetada pela salinidade nem pela temperatura da água. O sistema mede tanto a velocidade longitudinal como a transversal, e não é afetado por balanço e caturro do navio pois usa um feixe de ondas largo. Velocidade longitudinal é medida na faixa de -5 nós até 30 nós, e a transversal mais ou menos 5 nós. A precisão da medição é de 0,01 nós.

É possível utilizar o odômetro para medir a velocidade da massa de água, até metade da profundidade do fundo, selecionando reflexão fraca e uma janela de tempo menor que a usada para medir a velocidade no fundo. Igualmente, em águas profundas, reflexão fraca pode ser usada para medir a velocidade relativa do navio e uma determinada velocidade da massa de água em profundidade conhecida.



## 5 SISTEMAS DE REFERÊNCIA DE POSIÇÃO E EQUIPAMENTOS (PME)

O funcionamento do sistema DP varia com a maneira na qual a embarcação deve se manter na posição determinada. Uma plataforma de perfuração exige PME que a deixem em uma posição estacionária, enquanto um navio aliviador exige PME que permitam seu posicionamento relativo à outra embarcação, plataforma ou navio que esteja operando em conjunto. A precisão dos PME depende do papel que eles vão exercer e dos outros equipamentos que vão operar em conjunto a ele. Esses sistemas e equipamentos são analisados quanto à sua possibilidade de falha, e então analisa-se a necessidade de redundância dos mesmos ou outros que desempenham mesma função com outro modo de operação.

Existem diversos PME diferentes usados em DP. A seleção deles em uma embarcação é baseada nos tipos de operação da embarcação e das características de cada um. É possível usar somente um PME no sistema DP de uma embarcação, porém por questões de segurança, dois ou mais são realmente usados. Podem ser agrupados de acordo com a tecnologia usada:

**Tabela 2**

PME	ALCANCE	PROFUNDIDADE MÁXIMA	PRECISÃO	ALCANCE GEOGRÁFICO
<b>Taut Wire</b>	25% da profundidade	500m	500m	Mundial
<b>Rádio</b>	30km	N/E	±1m	Limitado a disponibilidade do sinal
<b>Hidro Acústico</b>	5x profundidade	4km	1-2% da profundidade	Mundial
<b>GPS</b>	Ilimitado	N/E	±3m	Mundial
<b>Laser</b>	250m	N/E	<0,5m	Precisa de alvo fixo

Em casos onde mais de um tipo é usado, dá-se a preferência para o que mais se aproximar do alvo desejado. E dentre os utilizados, as informações daquele que estiver mais fora do padrão é descartada, para que não afete a operação dos outros

equipamentos. Em certas condições de tempo, as posições de referência dos PME podem variar rápida e erroneamente. Para prevenir demandas desnecessárias dos propulsores, o operador DP pode alterar as respostas da embarcação às informações dadas pelos equipamentos ajustando o filtro de Kalman no sistema de controle.

### **5.1 TAUT WIRE**

Este sistema mede a variação da posição de um ponto fixo na embarcação relativo a um ponto fixo no fundo do mar. Os dois pontos são unidos por um cabo tensionado, e a angulação do cabo é medida. O sistema determina o deslocamento horizontal da embarcação em relação ao ponto fixo no fundo usando o comprimento do cabo e os ângulos dos inclinômetros acoplados ao cabo. O sistema consiste de um peso, que é abaixado até o fundo e um guincho na embarcação que mantém a tensão no cabo.

Dois inclinômetros medem o ângulo do cabo em relação a vertical. Os equipamentos utilizados por esse sistema podem ser instalados em qualquer ponto do bordo, proa ou popa da embarcação. Quanto mais próximo do centro de rotação da embarcação, menor será o efeito de balanço e caturro. Isso vai reduzir a carga de tensão do mecanismo de controle. Um ponto importante é escolher um local que permita uma angulação máxima antes do cabo tocar a embarcação. Esse sistema pode ser colocado tanto paralelo como em certa angulação em relação ao eixo da embarcação. A estação de controle deve ter visão clara do peso quando o estiver abaixando ou içando perto do costado da embarcação.

*Taut Wire* é um sistema bastante confiável e excelente para manter posição durante longos períodos de operação. A estrutura e operação do sistema são simples em condições moderadas de tempo. A catenária do cabo aumenta proporcionalmente ao ângulo e à profundidade, e os efeitos causam perda da precisão também proporcionalmente a esse aumento. Tipicamente, o ângulo máximo permitido é  $\pm 30^\circ$  em cada plano. O ângulo em operação estipula-se em  $\pm 15^\circ$ . Lançar e recuperar o peso pode se tornar um problema em condições piores de mar, pois o peso pode arrastar no fundo

## 5.2 SISTEMAS RÁDIO

Os principais são: Artemis e DGPS. Outros sistemas de rádio são Syledis, Argo, Trisponder, Microfix. O sistema de satélites russo (Glonass) é uma alternativa para o DGPS.

### 5.2.1 ARTEMIS

Um sistema de micro-ondas operando entre uma estação fixa e uma estação móvel, que emite informações de distância e marcação relativas à estação fixa. Foi desenvolvido por Christian Huygenslaboritorium BV na Holanda. O modelo atual, Mk IV, foi introduzido em 1989. O sistema consiste de duas antenas direcionais, que se alinham e mantem a posição enquanto as informações são trocadas entre elas por meio de micro-ondas. O alinhamento das antenas é mantido enquanto a estação móvel se desloca em relação à fixa. As informações passadas entre as estações proporcionam distância e marcação relativas entre elas, para que a posição da embarcação possa ser calculada. A distância é determinada calculando o intervalo de tempo entre a emissão e recepção do sinal. A marcação é transmitida pela estação fixa em relação ao Norte ou a outro ponto de referência que a antena esteja apontada.

O alcance do Artemis varia de 10m até 30km e tem cobertura 360° em volta da estação fixa. A precisão depende da distância entre as estações. Até 3km a precisão é de 5cm, e de 0,15m até 30km. Precisão em marcação é de 0,0025°. Em distâncias curtas, a antena fixa pode ser trocada por um transponder, todavia a precisão em marcação decresce. O Artemis opera na faixa de 9,2 GHz não sendo afetado por chuva ou neblina, entretanto, precisa de uma área sem obstruções para operar. É usado para posicionamento de embarcações de apoio e offshore.

### 5.2.2 DGPS

O DGPS opera usando os sinais de GPS através de estações de referência fixas localizadas convenientemente pelo mundo. Cada estação recebe a posição dos satélites e calcula a sua própria posição. Sabendo sua posição real, ela calcula um valor de correção para os satélites, que é transmitido à embarcação. O receptor da embarcação então aplica essa correção nos satélites que usa para receber sua posição. Essa operação é possível pois a estação e a embarcação, que estão até 500km de distância entre si, estão recebendo os sinais dos mesmos satélites.

### 5.3 HIDRO ACÚSTICO

Sistemas acústicos proporcionam posicionamento através de equipamentos colocados na água, que funcionam propagando ondas sonoras pela água do mesmo modo que as ondas de rádio são usadas na superfície pelos outros sistemas. Existem basicamente três tipos de sistemas e um quarto tipo que é a combinação de dois outros, são eles:

- *Long Base Line* (LBL)
- *Short Base Line* (SBL)
- *Ultra Short Base Line* (USBL)
- *Long and Ultra Short Base Line* (LUSBL)

Por mais que os sistemas tenham nome parecido, cada um possui sua característica de fonte de onda sonora e sistema de detecção. Os sistemas acústicos usam transdutores que emitem e recebem a onda sonora e *transponders* que recebem a onda sonora e a retransmitem. Esses sistemas são afetados pela profundidade da água, salinidade, temperatura e frequência da fonte emissora da onda sonora. Atualmente, *transponders* podem produzir uma onda sonora a milhares de metros de profundidade. Ar é uma fonte de atenuação significativa e *thrusters* uma grande fonte de ruído.

O cálculo da posição leva em conta o alinhamento dos *transponders* com as coordenadas da embarcação e as compensações de balanço e caturro do VRU. Em comparação com as ondas de rádio e com a luz, as ondas sonoras viajam devagar. A velocidade comum na água é de 1485 metros/segundo, ou seja, em profundidades de 4000 metros por exemplo, o sinal demora aproximadamente 5 segundos para retornar, que é muito alto em relação ao tempo normal de atualização de posição de um PME normal de menos de 1 segundo. Os seguintes fatores devem ser considerados ao escolher o tipo de sistema acústico a ser usado:

- Profundidade
- Precisão
- Área de Cobertura
- Confiabilidade
- Facilidade de Operação
- Custo

### 5.3.1 LONG BASE LINE (LBL)

Consiste em um transdutor único na embarcação, e um conjunto de no mínimo três *transponders*, separados mais de 500 metros entre si. Somente faz medições de distância, não opera com medições de angulação. Os *transponders* posicionados no fundo do mar tem sua posição determinada precisamente. A distância do transdutor para cada *transponder* é medida pelo tempo que um sinal sonoro do transdutor demora para ir ao *transponder* e voltar para ele. Um sinal único é emitido e cada *transponder* manda sua resposta com uma frequência diferente. O sinal acústico é aproximadamente 10KHz. A precisão do sistema acústico é muito dependente da profundidade da água, porém o LBL é mais preciso que o SBL e USBL. Uma das grandes vantagens do LBL é não necessitar do uso do VRU para compensações angulares visto que este sistema não utiliza medições de ângulo. Uma das maiores desvantagens é alto custo de implantação e calibração do esquema de *transponders* no fundo do mar.

### 5.3.2 SHORT BASE LINE (SBL)

Utiliza um único *transponder* no fundo do mar e um esquema de transdutores no casco da embarcação. Termos são usados popularmente para diferenciar os transdutores deste sistema dos demais. O *transponder* que fica no fundo do mar é chamado de *acoustic beacon* pois transmite uma série de pulsos, ao invés de responder. Similarmente, os transdutores são chamados de *hydrophones* pois só precisam escutar os sinais que foram transmitidos. Os transdutores são separados ao longo da parte mais baixa do casco da embarcação. É um sistema que mede distância assim como o LBL, mas precisa de compensação dos movimentos da embarcação, oferecido pelo VRU. O *transponder* no fundo emite pulsos curtos com período e frequência conhecidos. O tempo em que o pulso demora para chegar em três ou mais transdutores é medido. A distância mínima entre os transdutores é de 15 metros. SBL pode ser usado em profundidades até 1000 metros. O posicionamento dos *hydrophones* deve ser evitado perto de fontes de aeração, como os *thrusters*.

### 5.3.3 ULTRA SHORT BASE LINE (USBL)

Foi introduzido em 1993. A técnica usada é a comparação de fase das unidades posicionadas em volta do transdutor. A posição é determinada pela medição de ângulo e distância. Visto que este sistema utiliza medições de ângulo, é necessário utilizar

informações de correção do VRU. É o sistema acústico mais utilizado, tanto para manutenção de posição fixa quanto para outras operações que necessitam de movimentação.

#### **5.3.4 LONG AND ULTRA SHORT BASE LINE (LUSBL)**

Proporciona melhor precisão em águas profundas e operações de *survey*. Os *transponders* são calibrados usando o sistema USBL enquanto a velocidade do sistema depende do esquema dos *transponders* da parte LBL do sistema. As medições de distância extra proporcionam redundância ao sistema para que possa operar de maneira mais eficaz. Este sistema é muito útil para condições precárias de acústica.

#### **5.4 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)**

GPS é um sistema que fornece posição através da medição de distâncias de latitude, longitude e altitude em qualquer lugar do globo. Consiste de vinte e um satélites operacionais, com três satélites extras em seis órbitas de 20.200kms. Cada satélite demora 12 horas para completar uma volta completa no globo. Essa organização dos satélites faz com que 4 deles sempre estejam visíveis em qualquer ponto da superfície da Terra. Por questões de segurança, o GPS possui dois níveis de precisão: PPS e SPS.

- *Precise Positioning Service* (PPS) tem uma precisão em torno de 20 metros e somente está disponível para uso militar.
- *Standard Positioning Service* (SPS) tem uma precisão de aproximadamente 100 metros e está disponível para uso não militar. O DPGS, que utiliza os satélites para calcular posição, pode aumentar a precisão do SPS para 1-5 metros.

Os satélites transmitem em duas frequências, L1 e L2. A frequência L1 é modulada com o código P e com o código C/A. A frequência L2 é modulada somente com o código P. A grande precisão do GPS está no relógio atômico que cada satélite possui que é utilizado junto com elementos orbitais para fazer as medições. Os receptores de posição a bordo das embarcações possuem 8 ou mais canais de acompanhamento que decifram os códigos C/A da frequência L1 de 8 ou mais satélites. A posição dos satélites está em mensagens nos códigos C/A.

## **5.5 SISTEMAS LASER**

### **5.5.1 CYSCAN**

É um sistema de posicionamento de curto alcance e alta precisão que utiliza lasers. Consiste em um laser rotativo e três ou mais alvos refletivos fixados na estrutura fixa ou embarcação. Os alvos refletivos são fixados em espaçamento fixo em uma linha base. As embarcações podem ser identificadas pelo espaçamento dos alvos a elas fixadas. O sistema CYSCAN tem um alcance de mais de 250 metros com precisão de 20 centímetros e precisão de marcação de 0,01°. Um pulso de luz é emitido sobre o alvo refletivo e o tempo de viagem desse pulso é calculado para produzir uma medição de distância. No instante em que o pulso retorna, um codificador óptico é ativado para determinar o ângulo.

A unidade de laser pode ser montada em qualquer parte da embarcação, sendo comum ficar acima do passadiço. Pode ser facilmente retirada e reposicionada. A cabeça rotativa do laser é colocada sobre uma plataforma de dois eixos que compensa balanço e caturro da embarcação. Este sistema é feito particularmente para cada embarcação variando o número de refletores e seu espaçamento. O uso de três ou mais refletores proporciona uma maior redundância possibilitando o descarte das leituras errôneas. Este sistema não é afetado por objetos que venham a entrar no caminho ou sol incidindo diretamente sobre ele.

### **5.5.2 FANBEAM**

É um sistema alternativo de posicionamento de curto alcance e alta precisão que utiliza lasers. Consiste de uma unidade laser a bordo da embarcação e um refletor, que gera medidas de distância e marcação. O equipamento emite um feixe vertical de luz e pode girar 360° a 50° por segundo. Os feixes que retornam são processados e um valor aproximado é gerado. Um refletor usando fita refletiva pode ser usado até 100m. Acima de 100m é usado um prisma refletor. Em distâncias longas, prismas múltiplos são necessários. Fanbeam exige cuidado no posicionamento para que possa ter uma visão clara e evitar distúrbios no feixe de luz. O equipamento pode ser afetado pelo sol, condições atmosféricas que afetam a lente e o refletor.

## 6 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DP

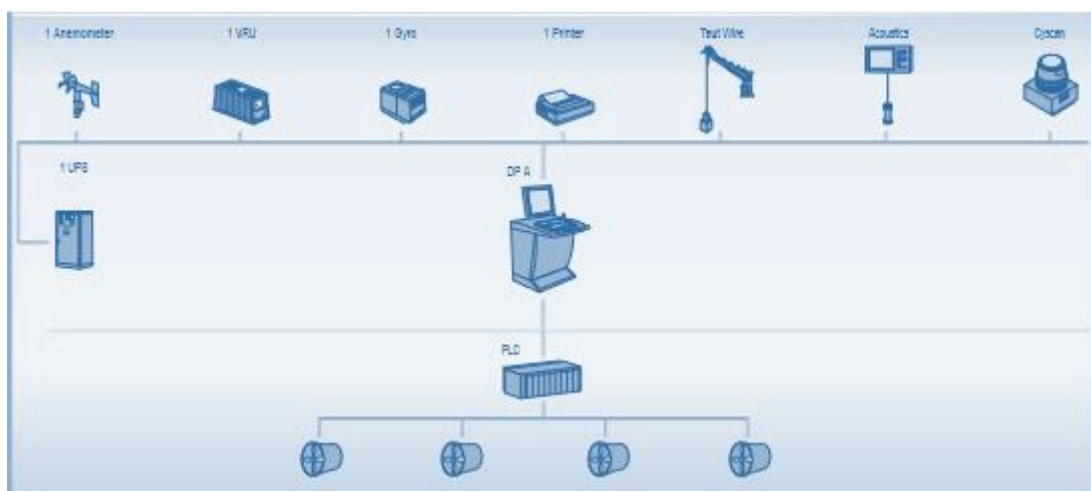
O principal motivo da divisão em classes dos sistemas DP é a possibilidade de falhas do sistema, que gerou uma divisão em classes de acordo com as redundâncias de seus equipamentos. Para essa questão das falhas, existe um estudo chamado *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) que gera um documento FMEA requerido pelas Sociedades Classificadoras para classificação do sistema DP. As falhas a serem consideradas e analisadas são a perda repentina da maioria dos equipamentos, perda repentina ou sequencial de alguns equipamentos e falhas de instabilidade nos controles. Os métodos de detecção e isolamento de uma falha devem ser mencionados também. O estudo FMEA deve considerar também os cenários de operação que a embarcação está sujeita como operações em águas rasas, maré alta e referências limitadas.

Os níveis de redundância foram definidos pela Organização Marítima Internacional (IMO) através do documento MSC/Circ.645 – *Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems* e pela IMCA através do documento *Guidelines for the Design & Operation of Dynamically Positioned Vessels*. Três classes de equipamentos são definidas por esses documentos:

- Equipamento Classe 1

Não possui redundância de equipamentos. Perda de posição pode ocorrer devido a uma falha simples.

**Figura 7:** Equipamento Classe 1 da Alstom



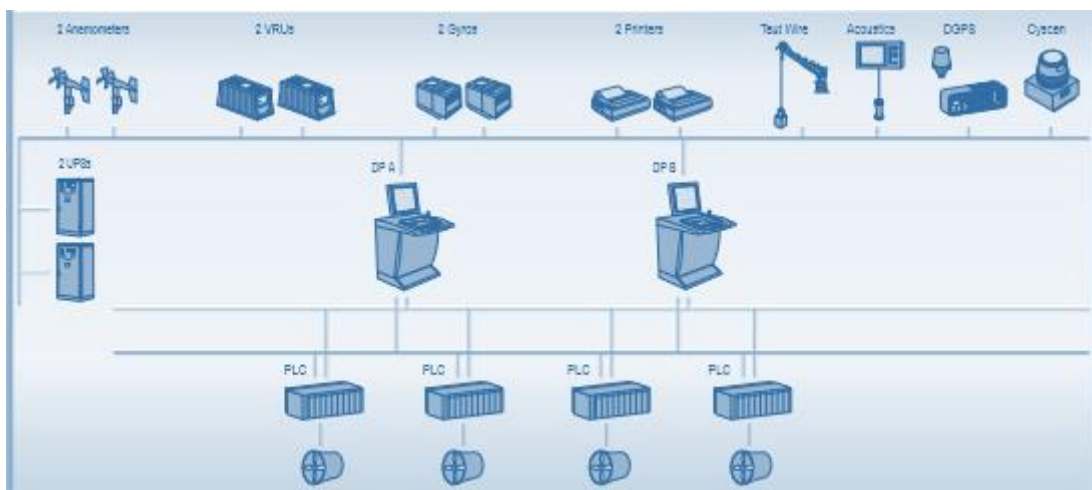
Fonte: *Guide to dynamic positioning of vessels*



### - Equipamento Classe 2

Possui redundância de equipamentos. Perda de posição não deve ocorrer devido a falha simples de um componente ativo ou de sistemas de geradores, propulsores, painéis de controle remoto de válvulas etc. Pode ocorrer devido a falha de componentes estáticos como cabos, tubulações, válvulas manuais etc.

**Figura 8:** Equipamento Classe 2 da Alstom



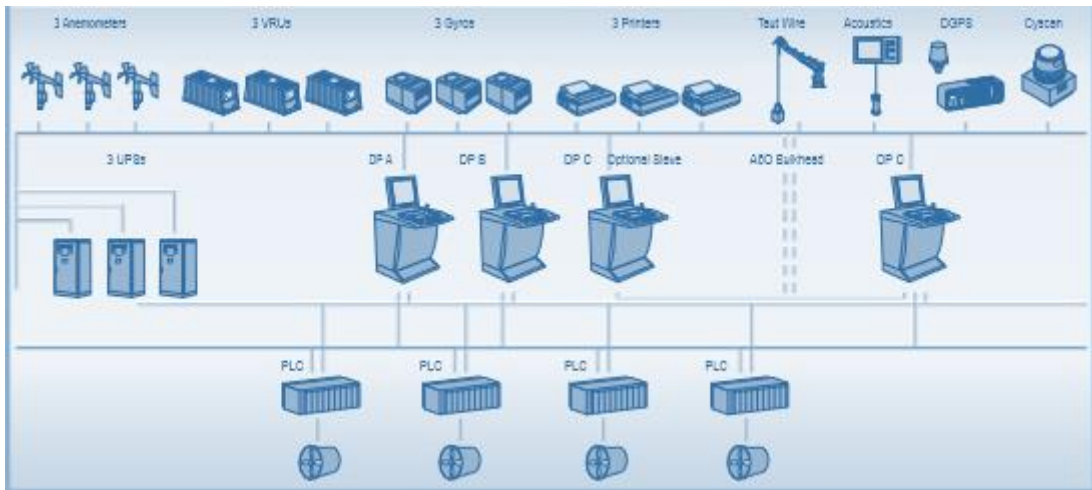
Fonte: *Guide to dynamic positioning of vessels*

### - Equipamento Classe 3

Possui mais redundâncias que o Classe 2 e *back up*. Perda de posição não deve ocorrer por falha simples. Os equipamentos devem ser instalados em compartimento com anteparas A60, à prova de fogo e estanques, evitando perda de posição em caso de incêndio ou alagamento.

Simple falha pode ser causada por ato inadvertido de qualquer pessoa a bordo de uma embarcação DP. As classes 2 e 3 requerem que um sistema de análise de consequência *online* seja incorporado no sistema DP. Esse sistema analisa continuamente a habilidade da embarcação de manter posição e direção da proa após uma falha séria durante operação. As possíveis consequências são baseadas nas condições meteorológicas, propulsores disponíveis e *status* da planta de geração de energia. Algumas dessas falhas são:

- Falha no propulsor principal
- Falha em um grupo de propulsores
- Falha em uma seção da planta de energia

**Figura 9:** Equipamento Classe 3 da Alstom

Fonte: *Guide to dynamic positioning of vessels*

## **7 MODOS OPERACIONAIS DO SISTEMA DP**

O sistema DP possui diversos modos operacionais para cada necessidade diferente e cada tipo de operação que a embarcação vai participar. Cada embarcação necessita de uma certa quantidade de modos de operação diferentes de acordo com o trabalho que executa, porém, o sistema permite a utilização de apenas um modo por vez, não sendo possível por exemplo usar o piloto automático e o controle manual ao mesmo tempo. A diferença entre os modos de operação está na maneira em que a posição e a velocidade são controladas. Os modos são selecionados pelo operador usando o painel ou o teclado. A seguir encontra-se a descrição com os modos operacionais mais utilizados. Em virtude de o sistema ser completamente em inglês, tanto os materiais dos cursos, os equipamentos, aparelhos e tudo que engloba este sistema, preservarei o nome de cada modo de controle na língua inglesa, para que traduções irregulares sejam evitadas.

### **7.1 *Joystick Manual Heading (JSMH)***

A embarcação é controlada por um *joystick* (manete) nos sentidos de proa/popa e bombordo/boreste, e girado no próprio eixo por um botão giratório. Esse modo é usado para controle manual total da embarcação pelo operador. O *joystick* indica a direção da propulsão de acordo com a direção que aponta, e a magnitude é dada pela quantidade em que o *joystick* é colocado para frente ou para trás. O modo manual pode tanto mover a embarcação como mantê-la parada resistindo às forças do ambiente.

### **7.2 *Joystick Auto Heading (JSAH)***

A direção da proa da embarcação é controlada automaticamente pela agulha giroscópica. O *joystick* controla os movimentos proa/popa e bombordo/boreste. O *joystick* indica a direção da propulsão de acordo com a direção que aponta, e a magnitude é dada pela quantidade em que o *joystick* é colocado para frente ou para trás. Esse modo é usado para manobras em proximidade à outra estrutura. O botão para girar o navio é desativado neste modo visto que a direção da proa é controlada automaticamente.

### **7.3 Dynamic Positioning (DP)**

Tanto a direção da proa, recebida pela agulha giroscópica, como a posição da embarcação, recebida de um PME, são controladas automaticamente. Esse modo é usado para manter posição fixa em relação à um alvo estacionário com a proa fixada.

### **7.4 Dynamic Positioning, Minimum Power**

Mantem a direção da proa nas condições meteorológicas que se encontra, enquanto controla o DP. Direcionando a proa para a direção do vento, este modo mantém a posição com esforço mínimo dos propulsores.

### **7.5 Remotely Operated Vehicle Follow (ROV Follow)**

O propósito deste modo é manter a embarcação posicionada em relação à um veículo de controle remoto (ROV) que geralmente é ligado à embarcação por cabos umbilicais que provem dados para operação do veículo. Este modo de operação tem duas formas possíveis:

- Posição de referência fixa

A embarcação fica fixa e o ROV circula em uma área definida. Caso ultrapasse essa área definida, a embarcação é deslocada para uma posição em que o ROV permaneça no centro da área novamente. Desta forma, a embarcação se movimenta pouco e é muito útil para áreas limitadas. Um PME e a agulha giroscópica controlam posição e proa, enquanto um sistema acústico posiciona o ROV em relação à embarcação.

- Distância fixa

A embarcação e o ROV se movimentam juntos mantendo uma distância horizontal entre eles. Neste modo a distância relativa entre os dois é calculada por um PME acústico. Utilizado para quando o ROV está seguindo uma tubulação ou linha de cabos.

### **7.6 Auto Track**

A posição é deslocada ao longo de um trecho, em baixa velocidade, entre dois ou mais pontos predeterminados, chamados de *waypoints* com o controle automático da direção da proa. Este modo possui diversas funções adicionais que permitem sua

utilização em variados tipos de operação da embarcação. O primeiro passo para utilização deste modo, é a determinação dos *waypoints* que a embarcação deve seguir.

### **7.7 Auto Pilot**

Normalmente utiliza o propulsor principal e o leme da embarcação para deslocá-la ao longo de um curso predeterminado em velocidade maior, comandada pelo operador através do *joystick*. Propulsores azimutais também podem ser utilizados.

### **7.8 Auto Sail**

Movimenta a embarcação entre dois ou mais *waypoints* e pode ser usado em velocidades de 2 nós ou mais. Neste modo a posição é controlado por um PME e a propulsão pelo *joystick*. O curso é determinado do mesmo jeito que o *Auto Track*.

### **7.9 Auto Speed**

Mantem a embarcação em velocidade constante no eixo longitudinal e horizontal. O controle da velocidade é dado pelo operador usando o *joystick*. A direção da proa é dada pelo operador também usando o *joystick* junto com as leituras da agulha giroscópica.

### **7.10 Shuttle Tanker Pickup**

É usado para navios aliviadores que vão operar com boias. Posiciona o navio em uma posição adequada próximo à boia para que o mangote seja conectado facilmente.

### **7.11 Shuttle Tanker Approach**

Esse modo leva o navio aliviador de fora do perímetro controlado da área de transferência para próximo da estrutura onde vai operar, mantendo a direção da proa de acordo com as condições meteorológicas.

### **7.12 Shuttle Tanker Loading**

Esse modo mantém o navio aliviador em posição para operação de transferência. O navio se movimenta em um arco delimitado em torno da estrutura que vai operar, mantendo sua proa direcionada para essa estrutura e na direção do vento.

### **7.13 Riser Follow**

Controla a posição da embarcação para que a angulação do *riser* fique sempre próxima de zero. Para evitar reposicionamento constante da embarcação, é permitido uma certa angulação do *riser* até que o sistema entre em ação. Usada para embarcações e plataformas de *drilling* (perfuração).

Antes de um modo de operação ser selecionado, o sistema irá verificar se os equipamentos necessários para operar em tal modo estão disponíveis e foram selecionados. Por exemplo, antes de entrar em um modo, ocorre a seguinte verificação:

- Propulsores suficientes foram selecionados ou estão disponíveis para tal
- Uma agulha giroscópica foi selecionada ou está disponível para tal
- Um PME foi selecionado ou está disponível para tal

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo deste trabalho era expor ao leitor um pouco do universo do posicionamento dinâmico e sua importância na vida do marítimo hoje em dia. Pôde ser notado todos os elementos principais que estão ligados ao sistema e como esses elementos o afetam.

A tecnologia se renova muito rapidamente e breve teremos novas adições ao posicionamento dinâmico, que darão oportunidade para realização de novos trabalhos de pesquisa e apresentação como este.

Vale ressaltar novamente a grande importância do DP para a segurança e qualidade de operação de cada navio atualmente, principalmente aqueles que estão envolvidos na exploração do petróleo.

## REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL MARINE CONTRACTORS ASSOCIATION. **IMCA M 103.**  
Guidelines for The Design and Operation of Dynamically Positioned Vessels

ALSTOM. Disponível em: [dpopprofessionals.com/dp/3/3.htm](http://dpopprofessionals.com/dp/3/3.htm)

RAPPINI, Sandro; PALLAORO, Afonso; HERINGER, Mauro. **Fundamentos do Posicionamento Dinâmico.**

POWER CONVERSION MARINE & OFFSHORE. **Guide to dynamic positioning of vessels.**

TECNOLOGIA MARÍTIMA. **Posicionamento Dinâmico.** Disponível em:  
[tecnologiamaritima.blogspot.com.br/2012\\_07\\_23\\_archive.html](http://tecnologiamaritima.blogspot.com.br/2012_07_23_archive.html)

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **IMO MSC/Circ.645. Guidelines for vessels with dynamic positioning systems.**