

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE NÁUTICA**



**OPERAÇÕES DE EMBARCAÇÕES DE CONSTRUÇÃO SUBMARINA E
SUA IMPORTÂNCIA NA INSTALAÇÃO DA ÁRVORE DE NATAL EM
UM POÇO DE PETRÓLEO**

VALDEMILSON LIBERATO PINTO JÚNIOR

RIO DE JANEIRO

2011

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE
NÁUTICA**

**OPERAÇÕES DE EMBARCAÇÕES DE CONSTRUÇÃO SUBMARINA E
SUA IMPORTÂNCIA NA INSTALAÇÃO DA ÁRVORE DE NATAL EM
UM POÇO DE PETRÓLEO**

VALDEMILSON LIBERATO PINTO JÚNIOR

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para a conclusão do curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Náutica.

Orientador: professor Augusto Marcos Coelho de Paiva

RIO DE JANEIRO

2011

VALDEMILSON LIBERATO PINTO JÚNIOR

**OPERAÇÕES DE EMBARCAÇÕES DE CONSTRUÇÃO SUBMARINA E SUA
IMPORTÂNCIA NA INSTALAÇÃO DA ÁRVORE DE NATAL EM UM POÇO DE
PETRÓLEO**

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Graça Aranha, como parte dos
requisitos para a conclusão do curso de
Aperfeiçoamento para Oficial de Náutica.

Aprovado pela Banca Examinadora em: ___ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Augusto Marcos Coelho de Paiva
Orientador

Professor

Professor

Professor

Dedico este trabalho ao meu Senhor e Salvador,
Jesus Cristo, pois sem Ele eu nada seria. Aos meus pais
Valdemilson Liberato Pinto e Célia Cristina Feijó
Liberato, e minha irmã, Walleska Feijó Liberato, que
sempre torceram por mim e são pilares em minha vida

AGRADECIMENTOS

Aos senhores Vladimir Pinto e Jorge Pinto por terem proporcionado suporte da empresa Norskan Offshore LTDA na minha inscrição no curso.

Ao comandante Carlos Alberto Uchôa com quem tive a honra de embarcar durante 5 anos da minha carreira e que me transmitiu boa parte do conhecimento pessoal sobre a atividade de apoio marítimo, como também ao comandante Túlio Silva Campos que solicitou a minha inscrição no curso de aperfeiçoamento e foi o primeiro comandante com que tive a honra de embarcar como Oficial de Náutica.

Aos meus melhores amigos na área de Marinha Mercante, Sidney de Oliveira Jr, que tive o prazer de embarcar durante a nossa formação na praticagem, Igor Alves dos Reis, que me substituiu no Norskan Flamengo e ao Diego Filipe de Souza Castro, no qual o conheci ainda como piloto recém formado, mas nossos laços de amizade foram fortificados e juntos conseguimos superar os desafios no OSCV Skandi Salvador.

Ao meu orientador, Professor Augusto Coelho que foi o meu guia na confecção desta monografia.

E também um especial agradecimento a todos os profissionais com quem já tive a satisfação de trabalhar e que, de alguma forma, contribuíram até hoje com a minha formação profissional.

Resumo

O objetivo deste trabalho é explicitar uma das operações mais importantes que constam na área de offshore, ou seja, como seria uma embarcação de construção submarina moderna, uma OSCV (*Offshore Support Construction Vessels*), sua atividade na área de exploração de petróleo, pré-requisitos que devem ser levados em conta para que um oficial mercante possa tripular uma embarcação deste gabarito, como cumprimento as regras do STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping*) e do IMCA (*International Marine Constructors Association*).

Os históricos de exploração do petróleo pelo mundo e no Brasil mostram a evolução desta indústria desde as primeiras perfurações de poços em terra e águas rasas até os records atuais em águas profundas, paralelamente à evolução dos sistemas de posicionamento dinâmico e a utilização destes e dos sistemas acústicos de referência as necessidades de uma embarcação desta ter no mínimo dois ROVs, e expor que para uma operação submarina, as influências do mar na superfície não podem prejudicar a operação e para isso a necessidade de equipamentos com compensador de *heave* para instalação do mecanismo que irá fazer a prospecção de petróleo no poço, a Árvore de Natal.

Este trabalho busca também expor as verificações que se fazem na árvore de natal, as conexões para a Unidade de Produção e a verificação que é realizada para checagem se o equipamento está devidamente instalado e funcional, como também as inspeções nas linhas.

Palavras Chaves

Árvore de Natal, ROV (*Remotely operated vehicle* – Veículo de operação Remota), Posicionamento dinâmico, Compensador de *Heave* e Tanque *Anti-Heeling*.

Abstract

The objective of this study is to explain one of the most important operations which appear in the offshore as would a modern deepwater construction vessel, an OCV (Offshore Support Construction Vessels), here activity in the area of oil exploration, pre-requisites that must be taken into account that a marine officer can be a crewman of a DP vessel, such as compliance with the rules of the STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping) and IMCA (International Marine Constructors Association).

The oil historical exploration in the world and Brazil show the evolution of this industry since the early drilling of wells on land and shallow waters to the current record in deep water, parallel to the evolution of dynamic positioning systems and the use of acoustic systems and reference needs of a vessel have at least two ROVs, and expose it to an underwater operation, the influences of sea surface may not affect the operation and the need for this equipment with heave compensator for installation of the mechanism that will make the control of oil prospection in the well, the Christmas tree.

This work also seeks to expose the checks that are done on a Christmas tree, the connections to Production Unity and check if the equipment is properly installed and functional as well as inspections on the lines.

Keywords:

Christmas Tree, ROV (Remotely operated vehicle), Dynamic Positioning, Heave Compensator and Anti-Heaving Tank.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cidade HIT – Mesopotâmia – 300 a.C.....	17
Figura 2 – George H. Bissell	18
Figura 3 – Torres de Petróleo	20
Figura 4 – Árvore de Natal Convencional.....	31
Figura 5 - Árvore de Natal Molhada no Poço	32
Figura 6 - Painel DP de uma PLSV	37
Figura 7 – Esquema Componentes DP Classe I	39
Figura 8 - Esquema Componentes DP Classe II.....	39
Figura 9 - Esquema Componentes DP Classe III	40
Figura 10 - Dynamic Position Watchkeeping Log Book	44
Figura 11 - IMCA Dynamic Positioning Logbook.....	45
Figura 12 – Transdutor multi-elemento.....	46
Figura 13 – Transponders	47
Figura 14 – Posicionamento em USBL	48
Figura 15 – Posicionamento em SBL.....	49
Figura 16 – Posicionamento em LBL.....	50
Figura 17 – Maquete do OSCV Skandi Salvador.....	52
Figura 18 – Arranjo Geral do Skandi Salvador projeto Aker ROV 06	53
Figura 19 – ROV acoplado na TMS	54
Figura 20 – SM 1000 low cost ROV system	55
Figura 21 – Falcon ROV	55
Figura 22 – Installer work class ROV	56
Figura 23 – CS150 construction support ROV.....	56
Figura 24 – 2.4MW rock trencher	57
Figura 25 – Explorer 5000 AUV	57

Figura 26 – Sistema Pneumático de Tanque <i>Anti-Heeling</i>	59
Figura 27 – Sistema de Tanque anti-heeling por bomba de água.....	59
Figura 28 – Guindaste de 140 toneladas com compensador de <i>heave</i>	60
Figura 29 – Capability plot.....	64
Figura 30 - Sequência do lançamento e instalação da Árvore de Natal.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distância das linhas de base acústica.....	47
Tabela 2 – Bandas e frequências de transmissão x profundidades.....	50
Tabela 3 – Comparação entre bandas de transmissão, frequências e a precisão.....	51
Tabela 4 – Lista de checagem do guindasteiro.....	61
Tabela 5 – DP capability	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DGPS	Differential Global Positioning System
DP	Dynamic Positioning
EHF	Extra High Frequency
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
GPS	Global Positioning System
HF	HighFrequency
HIPAP	High Precision Acoustic Positioning Systems
HPR	Hydroacoustic Position Reference
IMCA	International Maritime Contractors Association
IMO	International Maritime Association
LBL	Long Baseline HPR
LF	Low Frequency
MF	Medium Frequency
MRU	Motion Reference Unit
NMD	The Norwegian Maritime Directorate
NMEA	National Marine Electronic Agency
OIM	Offshore Installation Manager
OS	Operator Station
ROV	Remotely Operated Vehicle
SBL	Short Baseline HPR
SWL	Safe Working Load
USBL	Ultrashort Baseline

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1. HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E SUAS FINALIDADES	17
1.1 - PETRÓLEO EM ERAS REMOTAS	17
1.2 - EUROPA - IDADE MÉDIA EM DIANTE	17
1.3 - UMA VISÃO DO FUTURO - ESTADOS UNIDOS	18
1.4 - O PETRÓLEO E SUA EXPANSÃO	21
1.5 - A REVOLUÇÃO DOS TRANSPORTES	23
1.6 - EXPLORAÇÃO PETROLÍFERA OFFSHORE.....	24
1.7 - AS DESCOBERTAS NO BRASIL	25
2. PROCESSO DE EXPLORAÇÃO, PERFURAÇÃO E DA COMPLETAÇÃO NO POÇO DE PETRÓLEO	27
2.1 - EXPLORAÇÃO.....	27
2.2 - PERFURAÇÃO	28
2.3 - COMPLETAÇÃO	30
2.4 - ÁRVORE DE NATAL	30
2.5 - PRODUÇÃO	32
3. SISTEMAS DE POSICIONAMENTO DINÂMICO	35
3.1 - EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO	35
3.1.1 O projeto Mohole	35
3.1.2 Automação do sistema de posicionamento dinâmico.....	36
3.2 - CLASSES DE EQUIPAMENTOS DP	37
3.2.1 Normas e diretrizes internacionais	37
3.2.2 Normas da IMO para navios com sistemas DP	38
3.2.3 Diretrizes da IMCA para navios com sistemas DP	40
3.2.4 Normas e regulamentos da Noruega	43
3.3 - REGULAMENTAÇÃO PARA SER OPERADOR DE POSICIONAMENTO DINÂMICO .	43
3.4 - SISTEMAS ACÚSTICOS DE REFERÊNCIA	46

3.4.1 MODO ACÚSTICO EM USBL	47
3.4.2 MODO ACÚSTICO EM SBL	48
3.4.3 MODO ACÚSTICO EM LBL	49
3.4.4 MODO ACÚSTICO ADEQUADO ÀS OPERAÇÕES	50
4. TECNOLOGIA EMPREGADA NAS EMBARCAÇÕES OSCV	52
4.1 - ROVS E SUAS CLASSIFICAÇÕES	53
4.1.1 Classe I - ROV's de observação	54
4.1.2 Classe II - ROV's de observação com acessórios opcionais	55
4.1.3 Classe III – ROV's de trabalho	55
4.1.4 Classe IV – ROV's tratores e rebocados	56
4.1.5 Classe V – protótipos e veículos em desenvolvimento	57
4.2 - TANQUES ANTI-HEELING	58
4.3 - GUINDASTE COM SISTEMA DE COMPENSADOR DE HEAVE	60
4.3.1 Descrição do Sistema de Compensação de Heave:	60
5. PROCESSO DA INSTALAÇÃO DA ÁRVORE DE NATAL	62
5.1 - EMBARQUE DA ÁRVORE DE NATAL	62
5.2 - SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES	63
5.2.1 Definição de “capabilidade” do sistema DP	63
5.2.2 Definição dos limites ambientais	65
5.2.3 Limites operacionais próximo a plataformas	66
5.2.4 Limites operacionais do ROV	68
5.3 - PROCESSO PARA LANÇAMENTO DA ÁRVORE DE NATAL	70
5.3.1 CONVÉS	70
5.3.2 ROVs	71
5.3.3 LANÇAMENTO DA ÁRVORE DE NATAL	71
5.4 - HOOK-UP DE LINHAS PARA ÁRVORE DE NATAL	73
5.5 - LEVANTAMENTO CADASTRAL SUBMARINO	74
CONCLUSÃO	75

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
GLOSSÁRIO.....	78

INTRODUÇÃO

Desde o início das atividades da exploração de petróleo em mar aberto (área offshore) e com o constante aumento desta atividade, foram gerados inúmeros obstáculos no leito marinho, tais como linhas de dutos rígidos e flexíveis, manifolds, terminais de extremidade de oleodutos e gasodutos, linhas abandonadas, resíduos de instalações, sistemas de ancoragem, plataformas fixas, entre outros. Nesse período as atividades offshore submarinas, com baixas profundidades, eram executadas integralmente por mergulho, entretanto as crescentes descobertas em profundidades superiores a 200 m e campos gigantes em profundidades acima de 1000 m, inviabilizaram a atividade de mergulho para essas áreas. As atividades de mergulho comercial só são permitidas até 300 m, com altos riscos a esses trabalhadores. O ROV passou a ser equipamento imprescindível para essas operações. São utilizados desde a prospecção (perfuração e completção de poços), ancoragem de unidades, lançamento de dutos rígidos e flexíveis, intervenções em poços, manifolds, enfim qualquer operação em profundidades superiores a 300 m é obrigatória a presença de um ROV (*Remotely operated vehicle* – Veículo de operação Remota)

A Embarcação de Construção Submarina é uma embarcação especial, equipada com os mais modernos e sofisticados recursos de posicionamento e logística, e ainda dotada de dois ou mais ROVs com possibilidade de efetuar operações a uma lamina d'água de até 3000 metros, e com capacidade de operar onde o ser humano jamais esteve, realizando tarefas específicas inerentes às atividades de exploração de petróleo, tornando-se essencial para obtenção dos melhores resultados neste segmento.

No capítulo 1 é feito um breve resumo histórico da evolução da exploração do petróleo e o avanço desta indústria em direção ao alto mar, em águas cada vez mais profundas, no mundo e no Brasil.

No capítulo 2 vamos descrever o processo de exploração, perfuração e da completção no poço de petróleo, explicando as diferenças entre os tipos de árvores de natal, secas e molhadas, e qual é a árvore mais utilizada no Brasil.

No capítulo 3 são acrescentados os fatos e os acontecimentos marcantes na evolução da tecnologia de posicionamento dinâmico que culminaram nos modernos equipamentos

existentes atualmente nas plataformas e nos navios. O projeto e a classificação dos equipamentos segundo as normas, as principais características, vantagens e desvantagens de cada tipo de posicionamento acústico onde também são informadas as bandas e as frequências de transmissão mais apropriadas às operações são colocadas neste capítulo.

No capítulo 4 descrevem-se a tecnologia empregada nas embarcações de Construção Submarina, como as características e aplicações das cinco classes de ROV existentes, ilustrando-as com fotografias de alguns veículos e o porquê uma embarcação OSCV tem que ter no mínimo 02 ROVs, como também o guindaste com compensador de *heave* e os tanques *anti-heeling*.

O processo da instalação da árvore de natal, o seu hook up e todos os testes serão descritos no capítulo 5 deste trabalho, sendo o mais extenso.

A conclusão do trabalho, como resultado da pesquisa e da compilação de procedimentos, ressalta a importância do posicionamento dinâmico da embarcação com oficiais devidamente habilitados na instalação da árvore de natal, pois é uma operação que requer alto grau de precisão.

1. HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E SUAS FINALIDADES

1.1 - PETRÓLEO EM ERAS REMOTAS

O registro do petróleo remonta a tempos bíblicos. Na Babilônia, os tijolos eram assentados com asfalto. Os fenícios utilizavam-se do betume para calafetação de embarcações. Os egípcios o utilizavam na pavimentação de estradas, embalsamar os mortos e na construção de pirâmides. Gregos e Romanos utilizaram-no para fins bélicos.

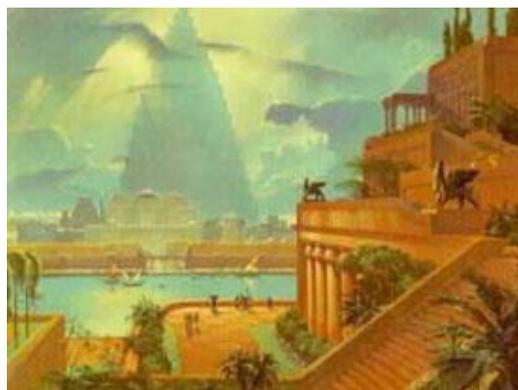


Figura 1 – Cidade HIT – Mesopotâmia – 300 a.C.

1.2 - EUROPA - IDADE MÉDIA EM DIANTE

Estranhamente, o conhecimento sobre o petróleo ficaria restrito ao Oriente e, com raras exceções, não chegaria ao Ocidente. Tal fato talvez se explique porque as ocorrências de betume ficavam além das fronteiras do Império Romano, sendo relatadas apenas como curiosidade, não sendo transmitido às futuras nações ocidentais. Mas há relatos que dão conta, a partir da Idade Média, da ocorrência de petróleo em algumas localidades da Europa, sendo os poços cavados manualmente pelos camponeses. A técnica do refino chegou à Europa

transmitida pelos árabes, mas o petróleo é usado apenas como uma panacéia por antigos monges e médicos.

1.3 - UMA VISÃO DO FUTURO - ESTADOS UNIDOS

George Bissell era um professor e advogado em Nova York que se auto-sustentava desde os doze anos. Ele falava muitas línguas, mas também tinha um faro excepcional para negócios.



Figura 2 – George H. Bissell

Em 1853, de volta a sua terra natal, Bissell, quando ia visitar sua mãe, passa pelo oeste do Estado da Pensilvânia e vê, pela primeira vez, naquela região isolada dos Estados Unidos, o "óleo de pedra" borbulhando nos mananciais ou vazando nas minas de sal das florestas da região. Alguns poucos barris eram obtidos por métodos bem primitivos, escumando o óleo que ficava na superfície dos mananciais e dos córregos ou embebendo-o em trapos e cobertores. Era conhecido como "Óleo de Sêneca" em homenagem aos índios da localidade, que transmitiram aos brancos o conhecimento de sua utilidade como remédio tanto para os homens como para os animais. Mais tarde George Bissell, após visitar sua mãe, vai rever sua antiga faculdade o *Dartmouth College* e eis que uma garrafa colocada em cima de um armário na sala de um professor, chama-lhe a atenção. Na garrafa há uma amostra daquele mesmo

óleo de pedra da Pensilvânia, muito utilizado como remédio. Ele sabia que aquele líquido negro e viscoso era inflamável e, num lampejo, concebeu a idéia de que o óleo poderia ser utilizado não como remédio, mas sim como iluminante.

Aqui há necessidade de se abrir um parêntese: Naquela época o mundo e especialmente os Estados Unidos viviam uma grande crise relacionada com a iluminação. A explosão populacional e a Revolução Industrial aumentaram sobremaneira a necessidade de um iluminante que até então se baseava no uso de um simples pavio impregnado de alguma gordura animal ou óleo vegetal. Os mais abastados usavam o óleo de baleia, de melhor qualidade, mas de preço mais alto. Mas os cachalotes do Atlântico já estavam em processo de dizimação e os preços com isso se elevavam muito.

Havia outros produtos como o canfeno, um derivado da terebintina que soltava muita fumaça e às vezes costumava explodir na casa das pessoas. As ruas e algumas casas eram iluminadas pelo chamado gás urbano, destilado do carvão que era colocado nos lampiões. Mas o gás era caro e pouco confiável e em 1854 o canadense Abraham Gesner desenvolveu um processo para extrair óleo do carvão ou do asfalto. Chamou o produto de "querosene" de "keros" e "elaion", palavras gregas que significam "cera" e "óleo". Mas o problema principal ainda persistia, ou seja, o custo era muito elevado e a quantidade produzida insuficiente.

Bissell sabia que sua idéia só vingaria se ele conseguisse resolver estes dois problemas: um óleo iluminante que pudesse existir em grande quantidade e que pudesse ser fabricado a baixo custo. Mas ele levou sua idéia adiante e tratou de conseguir investidores, convencendo-os de que estavam diante de uma grande e rendosa descoberta. Seu entusiasmo era tanto que conseguiu arrecadar o suficiente para contratar um renomado professor de química da Universidade de Yale que faria uma pesquisa na região e analisaria detalhadamente o produto. Os resultados foram amplamente favoráveis. O óleo podia ser levado a vários níveis de ebulição e com isto ser refinado, obtendo como subproduto um óleo iluminante de altíssima qualidade. Logo porém surgiu a primeira dúvida para os participantes da recém fundada *Pennsylvania Rock Oil Company* de Bissell: Haveria bastante óleo à disposição ou, como muitos diziam, eram apenas um gotejamento das fendas subterrâneas do carvão.

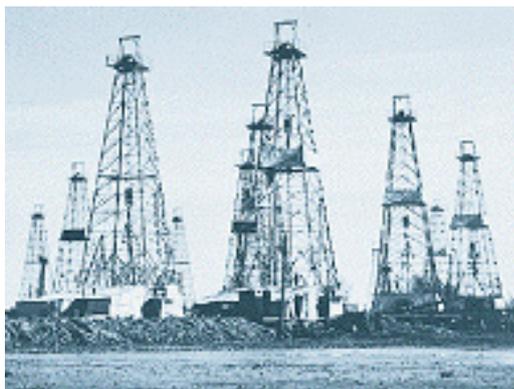


Figura 3 – Torres de Petróleo

Bissell que já tivera dois lampejos anteriores teria, numa tarde quente do verão novaiorquino, uma terceira visão que seria definitiva para a implantação da indústria do petróleo. Bissell, ao se refugiar do calor, procura abrigo no toldo de uma farmácia e vê então numa vitrine a propaganda de um remédio feito a base de petróleo. O cartaz mostrava várias torres de perfuração das que eram usadas nos poços de sal, onde o petróleo acabava aparecendo como uma espécie de subproduto. A técnica de perfuração de poços de sal havia sido desenvolvida pelos chineses há mais de um século e meio, alcançando quase 1000 metros de profundidade. Da China a técnica foi importada pela Europa e de lá chegou aos Estados Unidos. O olhar arguto de Bissell logo vislumbrou uma possibilidade nova: Porque não utilizar a mesma técnica de perfuração do sal para o petróleo?

E assim foi feito. Mas inúmeras dificuldades surgiriam num processo interminável de erros e acertos com todos achando que Bissell e seus companheiros eram loucos. Quando o processo já estava quase sendo abortado, em 27 de agosto de 1859, a broca ao atingir 21 metros de profundidade deslizou mais alguns centímetros e fez jorrar petróleo no poço, dando início a uma agitação similar a corrida do ouro da Califórnia. Estava nascendo a "Luz da Era", uma iluminação forte, brilhante e barata.

Bissell, naturalmente ficou rico, mas fez inúmeras obras filantrópicas doando inclusive dinheiro para a construção de um ginásio no *Dartmouth College* onde ele havia visto a garrafa de óleo de pedra que lhe permitiu uma visão do futuro.

Além do querosene outros usos do petróleo foram sendo incorporados como a vaselina e a parafina e, principalmente, como lubrificante, essencial para o bom funcionamento das máquinas da nascente atividade industrial.

Em 1882, outro americano, Thomas Alva Edison, abriu as portas para o surgimento de uma "nova luz": a elétrica. Que futuro teria então o petróleo? O que a Standard Oil, já então a maior empresa do mundo, fundada por John D. Rockefeller, faria com os milhões de dólares investidos na produção, refino, armazenamento, distribuição e transporte do petróleo que estava quase que totalmente voltado para a iluminação?

Se uma nova descoberta revolucionária ameaçava o império do petróleo, podendo fechar as portas do lucro, outra descoberta, também revolucionária, viria a ocorrer "salvando" o petróleo e abrindo caminho para uma união que perdura até nossos dias: a "carruagem sem cavalo", nosso velho conhecido automóvel.

1.4 - O PETRÓLEO E SUA EXPANSÃO

Transformado em uma das mais importantes fontes de energia do mundo, o petróleo ainda ocupa posição fundamental no sustentáculo de várias economias. Atualmente, a variação do preço do barril no mercado internacional é capaz de provocar crises econômicas de grandes proporções. Desde os mega investidores até os mais simples consumidores da cadeia econômica, se transformam em um frágil alvo das oscilações do "diamante negro". A expansão de seu consumo aconteceu, inicialmente, graças à popularização dos automóveis produzidos em série e a utilização de motores combustíveis em outros meios de transporte. Com isso, na primeira metade do século XX, grandes indústrias petroleiras buscaram capitanear a exploração desse recurso, principalmente no Oriente Médio. Frágeis ou mesmo sem condições de controle, essas nações viram sua riqueza nacional sistematicamente explorada.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, essa situação se transformou com a ascensão de governos interessados em controlar a exploração de petróleo em seus próprios países. Em posição frágil, por conta das terríveis perdas causadas pelas guerras, as grandes nações capitalistas não tiveram outra opção a não ser reconhecer a nova política das nações médio-orientais. Enfim, era melhor reduzir os lucros da exploração do que correr o risco de não ter acesso aos valiosos barris de petróleo.

Apesar disso, outras questões políticas serviram para que o controle exercido pelas nações do Oriente Médio causasse serias preocupações aos grandes capitalistas. No começo da década de 1970, as nações produtoras começaram a regular o escoamento da produção petrolífera por conta de sua natureza não renovável. Em 1973, o valor do barril mais que triplicou em um curto período de três meses.

Nessa mesma época, a crise entre os produtores orientais e o bloco capitalista piorou com o estouro da Guerra do Yom Kippur. Esse foi um dos vários conflitos entre árabes e judeus envolvendo os territórios da Palestina. Discordando da ofensiva judaica, as nações árabes vizinhas, produtoras de petróleo, organizaram um boicote contra toda a nação que apoiasse a causa dos israelenses. Não suportando a elevação do barril para a casa dos US\$ 40,00, vários países abandonaram a guerra.

Outra crise de grandes proporções também aconteceu no ano de 1979, quando os iranianos organizaram a deposição do ditador Xá Reza Pahlevi. Com a sua saída do poder, o cenário político do Irã foi controlado pelos xiitas apoiadores do aiatolá Khomeini. Até a organização do setor petrolífero desta nação, o barril de petróleo atingiu o estratosférico preço de US\$ 80,00. Somente na segunda metade da década de 1980 que o valor do petróleo passou a diminuir.

O destaque destas duas crises indica que a economia de nações poderosíssimas está intimamente ligada a essa fonte de energia. Sendo o petróleo um recurso natural não renovável, muitos países investem na exploração de outras fontes de energia que possam sustentar o quadro econômico futuro. Contudo, ainda é difícil imaginar as várias transformações que um mundo sem petróleo poderia exercer na economia, na sociedade e, até mesmo, no jogo político internacional.

Desde o século XVI, o principal motivo das expansões marítimas e das atividades econômicas européias, como é sabido, foi a busca do ouro. Reis, navegantes, soldados e mercadores de Portugal, da Espanha, da Holanda e da Inglaterra, cada um por si, lançaram-se na localização e exploração do precioso mineral em qualquer parte do mundo. Entretanto, a partir do século XIX, outro tipo de ouro vai atizar a cobiça humana.

1.5 - A REVOLUÇÃO DOS TRANSPORTES.

Tanto nos começos como em boa parte do século XIX extraia-se dele apenas o querosene para a iluminação, porém, com o advento da indústria automobilística (Ford fabricou o seu primeiro modelo em 1896), da aeronáutica (os irmãos Wright voaram em 1903), somadas à expansão naval, o petróleo tornou-se o principal produto estratégico do mundo moderno, fazendo com que as maiores 100 empresas do nosso século estejam ligadas direta ou indiretamente a ele.

Nomes de John Rockefeller (fundou a Standar Oil em 1870), Paul Getty, Leopold Hammer, Alfred Nobel, Nubar Gulbenkian e Henry Ford tornaram-se mundialmente conhecidos por estarem associados ao petróleo ou ao automóvel.

Ao contrário da época da Revolução Industrial dos séculos XVIII e XIX, ocasião em que a maioria dos países, hoje desenvolvidos, deram começo às suas plantas fabris baseadas essencialmente na presença do carvão, mineral que todos possuíam em abundância nos seus respectivos países, a Revolução dos Transportes do século XX deu-se num outro cenário de estratégico.

De um lado do mundo, nos Estados Unidos e na Europa Ocidental, situaram-se as principais fábricas de veículos, enquanto que a extração do combustível que lhes dá sustento, o petróleo, ficou fundamentalmente circunscrito ao quadrilátero árabe e ao Golfo Pérsico, distantes a milhares de quilômetros dos centros mais importantes de consumo.

Dai haver repercussão mundial a cada momento em que esta relação entre os campos petrolíferos do Oriente Médio e os mercados dos países do Primeiro Mundo se desestabiliza, ameaçada por guerras, golpes ou revoluções.

1.6 - EXPLORAÇÃO PETROLÍFERA OFFSHORE

A primeira tentativa de encontrar petróleo no mar ocorreu no início do século XVIII, em uma área a trinta metros da costa de Baku, no Mar Cáspio. No ano de 1925, nessa mesma região, obteve-se sucesso na perfuração do primeiro poço de petróleo em alto-mar.

Na Califórnia, naquele mesmo período, os poços de petróleo eram conectados à costa através de *piers* com comprimentos de até 400 metros, que logo deram lugar a plataformas de petróleo autônomas. A cronologia abaixo mostra a evolução da exploração do petróleo no mar desde aquela época até o final da década de 80 (KONGSBERG MARITIME AS, 2004, p. 1.14–1.15).

1869 Os americanos, Thomas F. Rowland e Samuel Lewis, respectivamente, criam a patente de uma plataforma tipo jaqueta e desenvolvem o projeto.

1897 Plataforma de perfuração construída em madeira é conectada à costa por um píer em Summerland, Califórnia.

1906 Duzentos poços produtores de petróleo existentes na costa de Summerland.

1924 Primeiro poço de petróleo perfurado no Lago Maracaibo, a noroeste da Venezuela.

1934 Primeira plataforma de petróleo é construída em aço, no Mar Cáspio, próximo à Ilha Artem.

1947 Perfuração de poço realizada a seis metros de profundidade no Golfo do México.

1963 Construção da plataforma jaqueta *LE TOURNEAU* para perfuração a setenta e cinco metros de profundidade.

1976 Instalação da plataforma *HONDO FIELD* na costa Sul da Califórnia, a uma profundidade de 260 metros.

1978 Plataforma *COGNAC FIELD*, construída em aço e pesando 59.000 toneladas, é instalada na costa do estado americano do Mississippi, a uma profundidade de 312 metros. No mesmo ano, instalação de uma plataforma construída em concreto no Campo Ninian, no Mar do Norte, a uma profundidade de 138 metros.

1988 A plataforma jaqueta *BULLWINKLE*, pesando 77.000 toneladas é instalada no Golfo do México a uma profundidade de 411 metros, estabelecendo o recorde mundial.

A instalação e a movimentação destas plataformas apresentavam um custo muito elevado e eram restritas a profundidades de até 300 metros. A necessidade de perfuração em águas mais profundas e de uma técnica mais econômica e fácil de mover as plataformas para outra locação proporcionou o surgimento da ancoragem dos navios-sonda e das plataformas semi-submersíveis.

1953 Operação do *SUBMAREX*, primeiro navio-sonda a usar âncoras, na costa da Califórnia, a uma profundidade de 120 metros.

1954 Operação do primeiro navio-sonda no Golfo do México.

1962 Entrega da *C.P. BAKER*, primeira plataforma semi-submersível construída nos Estados Unidos.

1970 Navio-sonda *WODECO 4* realiza teste de perfuração a uma profundidade de 456 metros.

1976 Recorde mundial de perfuração em águas profundas pela sonda ancorada *DISCOVERER 534* a uma profundidade de 1.055 metros.

1987 Novo recorde mundial de perfuração em águas profundas pela sonda *DISCOVERER 534*, a uma profundidade de 1.985 metros.

1.7 - AS DESCOBERTAS NO BRASIL

A exploração de petróleo em reservatórios situados na área *offshore* do Brasil iniciou-se no ano de 1968, na Bacia de Sergipe, campo de Guaricema, em águas com cerca de trinta metros de profundidade.

Com o aumento da atividade em Sergipe, em Alagoas, no Rio Grande do Norte e no Ceará, a empresa Petrobras S.A. desenvolveu as plataformas de primeira, segunda e terceira famílias.

A plataforma de primeira família comportava até seis poços de produção e podia ser instalada em águas com profundidade de até 60 metros. A plataforma de segunda família comportava a produção de até nove poços, permitia a separação primária dos fluídos produzidos e possuía sistema de transferência de óleo, sistema de teste de poços, sistema de

segurança e um sistema de utilidades. Possuía também acomodações para os funcionários operadores.

As plataformas de terceira família permitiam a perfuração e a completação de até quinze poços e eram dotadas de facilidades que incluíam: uma planta de processo completa, um sistema de compressão de gás, um sistema de recuperação secundário, sistemas de segurança e de utilidades e acomodação de pessoal.

Em 1975, para o desenvolvimento do campo de Ubarana e do campo de Agulha, no Rio Grande do Norte, decidiu-se pela utilização das plataformas de concreto gravitacionais. Eram instaladas em locais com profundidade aproximada de 13 metros.

Em agosto de 1977, com o campo de Anchova a 120 metros de profundidade, iniciou-se a atividade na Bacia de Campos. Foi introduzido o sistema de exploração conhecido como Sistema Antecipado de Produção (EPS).

O Campo de Garoupa, a 120 metros de profundidade, entrou em produção em 1979, juntamente com o de Namorado, este a 160 metros de profundidade.

Em 1983, a Petrobras S.A. implantou o Sistema Definitivo da Bacia de Campos, em locais com profundidades que variavam entre 110 e 175 metros.

A partir de 1984 foram descobertos na Bacia de Campos, os campos gigantes em águas profundas que à época, variavam de 300 a 1.000 metros de profundidade. Em 1984, o Campo de Albacora foi descoberto, seguido por: Marimbá e Marlim, em 1985; Marlim Sul e Marlim Leste, em 1987; Barracuda e Caratinga, em 1989, e; Roncador, em 1996.

Estes campos estão situados em profundidades superiores a 300 metros, que é a profundidade limite para o uso de mergulhadores na instalação, operação e manutenção, demandando assim, o desenvolvimento de tecnologia pioneira para serem postos em produção. Surgiu então, a demanda crescente pelo uso dos ROV's para estas tarefas.

As recentes descobertas do pré-sal, camada geológica com espessura de cerca de 2.000 metros abaixo do solo marinho impuseram à Petrobras S.A. o desafio de realizar perfurações em uma profundidade total de cerca de 7.000 metros, considerando-se a espessura do solo e a profundidade do mar.

Atualmente, com as perspectivas de exploração do Campo de Tupi, na Bacia de Santos, a Petrobras S.A. estima poder produzir a partir de 2017 cerca de 1 milhão e 300 mil barris de petróleo por dia, só nessa região.

2. PROCESSO DE EXPLORAÇÃO, PERFURAÇÃO E DA COMPLETAÇÃO NO POÇO DE PETRÓLEO

2.1 - EXPLORAÇÃO

O ponto de partida na busca do Petróleo é a Exploração ou Prospecção, que realiza os estudos preliminares para a localização de uma jazida.

A moderna exploração do Petróleo utiliza um grande conjunto de métodos de investigação na procura das áreas onde essas condições básicas possam existir. Os diversos estágios da pesquisa petrolífera orientam-se pelos fundamentos de duas ciências: a Geologia, que estuda a origem, constituição e os diversos fenômenos que vem atuando por bilhões de anos na modificação da Terra, e a Geofísica, que estuda os fenômenos puramente físicos no planeta. Assim, a geologia de superfície analisa as características das rochas na superfície e pode ajudar a prever seu comportamento a grandes profundidades. O seu maior objetivo é identificar as bacias sedimentares (rochas onde o Petróleo fica armazenado). Os métodos geofísicos, por sua vez, tentam, através de sofisticados instrumentos, fazer uma “radiografia” do subsolo, que traz valiosos dados e permite selecionar uma área que reúna condições favoráveis à existência de um campo petrolífero.

Um dos métodos mais utilizados é o da Sísmica, onde são enviados pulsos hidroacústicos no mar e acústicos em terra, que através do método de reflexão identifica as “armadilhas” (*traps*), que são arranjos de rochas que possibilitam a geração e migração do petróleo.

Geólogos e Geofísicos analisam o grande volume de informações gerado pelas etapas iniciais da pesquisa e a partir daí obtém um razoável conhecimento sobre a espessura, constituição, profundidade e comportamento das camadas de rochas existentes numa bacia sedimentar, o que permite a escolha dos melhores locais para a perfuração. Porém tudo isso pode, no máximo, sugerir que certa área tem ou não possibilidades de conter Petróleo, mas jamais garantir a sua presença. Esta somente será confirmada pela perfuração dos poços.

Todas as bacias sedimentares brasileiras já foram pesquisadas, em graus diferentes. A intensidade do esforço exploratório tem variado em função dos resultados obtidos. Em algumas bacias, houve descobertas logo na fase inicial de exploração, e o número de poços perfurados cresceu rapidamente. Em outras, esse sucesso não ocorreu, e o trabalho foi interrompido, só tendo sido retomado após o reestudo das informações e com o emprego de novas idéias ou métodos. Esta é a prática adotada por todas as grandes companhias de Petróleo.

2.2 - PERFURAÇÃO

A perfuração é a segunda fase na busca do Petróleo. Ela ocorre em locais previamente determinados pelas pesquisas Geológicas e Geofísicas. Para tanto, perfura-se um poço – o Poço Pioneiro – mediante o uso de uma sonda (Plataforma Auto elevatórias, SS DP ou ancorada e Navios sondas) que são unidades utilizadas para perfurar poços. Esse trabalho é feito através de uma Torre que sustenta a coluna de perfuração formada por vários tubos. Na ponta do primeiro tubo encontra-se a broca, que, triturando a rocha, abre o caminho das camadas subterrâneas. Comprovada a existência de Petróleo, outros poços são perfurados para se avaliar a extensão da jazida. Essa avaliação é que vai determinar se é comercialmente viável, ou não, produzir o Petróleo descoberto. Caso positivo, o número de poços perfurados forma-se um Campo de Petróleo.

A perfuração em terra é feita através de sonda de perfuração, constituída de uma estrutura metálica de mais de 40 metros de altura (torre) e de equipamentos especiais. A torre sustenta a coluna de perfuração (que são vários tubos conectados entre si desde a superfície até o reservatório), em cuja extremidade é colocada uma broca. Através de movimentos de rotação e de peso transmitidos pela coluna de perfuração à broca, as rochas são perfuradas.

A Petrobrás perfurou o primeiro poço em 1968, em frente ao Espírito Santo, e o segundo no mesmo ano, no litoral de Sergipe, que resultou na descoberta do campo de Guaricema. A atividade nas bacias marítimas foi acelerada progressivamente desde então em decorrência dos avanços tecnológicos e dos êxitos alcançados. Em 1974, foi descoberto

Petróleo na bacia de Campos, no litoral fluminense, que se tornou a mais importante província produtora do País.

Fluido de perfuração (Lama de perfuração, quando retorna a sonda) é um fluido especial, composto basicamente de uma mistura de argila, aditivos químicos e água, injetado no poço por meio de bombas, a fim de manter a pressão ideal para que as paredes do poço não desmoronem. A lama de perfuração serve, também, para lubrificar e resfriar a broca e deter a subida do Gás e Petróleo, em caso de descoberta. Enquanto se processa a perfuração, todo o material triturado pela broca vem à superfície, em mistura com a lama. O geólogo examina os cascalhos contidos nesse material e, aos poucos, vai reunindo a história geológica das sucessivas camadas rochosas vencidas pela sonda. A análise desses dados pode dar a certeza de que a sonda encontrou Petróleo e que a perfuração deve continuar ou, então, de que não há esperança de qualquer descoberta.

A perfuração de um poço nem sempre revela a presença de Petróleo no subsolo. Apesar do grande progresso dos métodos de pesquisa, mais de 80% dos poços pioneiros não resultam, no Brasil e no mundo, em descobertas aproveitáveis. Quando um poço não revela a presença de Petróleo, é tamponado com cimento e abandonado. Embora secos ou subcomerciais, esses poços podem fornecer indicadores e informações importantes para o prosseguimento das perfurações, porque permitem maiores conhecimentos sobre a área explorada.

Na fase da pesquisa petrolífera denominada avaliação, determina-se se o poço contém Petróleo em quantidades que justifiquem sua entrada em produção comercial. Para isso, são realizados testes de formação, para recuperação de fluido contido em intervalos selecionados; se os resultados forem promissores, executem-se os testes de produção, que podem estimar a produção diária de Petróleo do poço.

Desde o momento em que a perfuração é iniciada, o trabalho se processa sem interrupção e só termina quando atinge o reservatório. O objetivo de um poço, em termos de perfuração, é traduzido na profundidade programada: 800, 2.000, 6.000 metros, etc. isto requer trabalho árduo e vigília permanente. A medida que a broca avança, são acrescentados tubos em segmentos de doze metros. Em geral, uma broca tem vida útil de 40 horas. Para trocá-la, tem-se de retirar toda a tubulação em segmentos de três tubos e recolocá-los. É fácil

imaginar o trabalho e o tempo que se leva se a perfuração estiver, por exemplo, a 4.000 metros de profundidade.

Os poços iniciais são chamados pioneiros e têm por objetivo testar áreas ainda não produtoras. Caso se realize uma descoberta com o pioneiro, são perfurados outros poços para estabelecer os limites do campo. São os chamados poços de delimitação ou extensão. Todos eles são, em conjunto, classificados como exploratórios. Se for confirmada a existência de área com volume comercialmente aproveitável de óleo, são perfurados os poços de desenvolvimento, através dos quais o campo é posto em produção. Em muitos casos, os poços pioneiros e os de delimitação também são aproveitados para produzir.

2.3 - COMPLETAÇÃO

Quando um poço é produtor, inicia-se o estágio de completação: uma tubulação de aço, chamada coluna de revestimento, é introduzida no poço. Em torno dela é colocada uma camada de cimento, para impedir a penetração de fluídos indesejáveis e o desmoronamento de suas paredes. A operação seguinte é o canhoneio: um canhão especial desce pelo interior do revestimento e, acionado da superfície, provoca perfurações no aço e no cimento, abrindo furos nas zonas portadoras de óleo ou Gás e permitindo o escoamento desses fluidos para o interior do poço. Outra tubulação, de menor diâmetro (coluna de produção), é introduzida no poço, para conduzir os fluidos até a superfície. Instala-se na boca do poço um conjunto de válvulas conhecido como árvore de natal, para controlar a produção.

2.4 - ÁRVORE DE NATAL

Árvore de natal é o nome dado ao conjunto de válvulas instalado em poços de exploração de petróleo e gás natural que regula a produção destes hidrocarbonetos.

Há, atualmente, dois tipos de árvore de natal: as árvores de natal convencional _ ANC e a árvore de natal molhada - ANM, esta utilizada em plataformas de exploração off-shore.

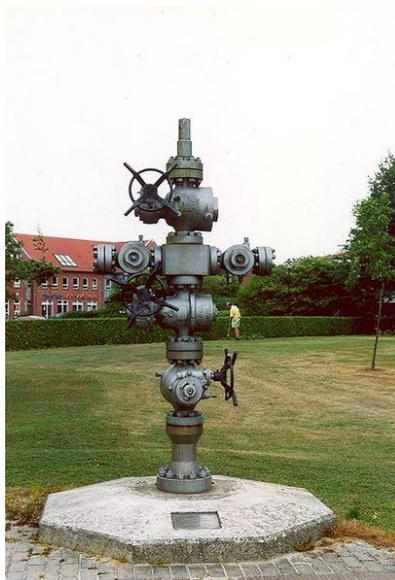


Figura 4 – Árvore de Natal Convencional

Muito se ouve falar em árvores de natal e manifolds, mas pouco se sabe o que realmente são estes equipamentos. Árvores de natal são conjuntos de conectores e válvulas usadas para controlar o fluxo dos fluidos produzidos ou injetados, instalados em cima da cabeça de poço. O manifold é um equipamento de passagem e de manobra da produção, onde o óleo é agrupado em um mesmo coletor.

Existem diversos tipos de árvores de natal, usadas tanto no mar quanto em terra. Quando usada em poços submarinos, ela é chamada de árvore de natal molhada. Pode ser diver assisted ou diverless. Na diver assisted, mergulhadores ajudam a acoplar os dutos submarinos à árvore. A diverless é usada quando a profundidade é superior a 300 metros e pode ser do tipo com cabos de guia (guideline) ou guidelineless. A guidelineless é usada para maiores profundidades, quando a instalação é realizada a partir de embarcações com posicionamento dinâmico, não ancoradas. Segundo Cezar Paulo, o Brasil apresenta o maior número de árvores de natal molhadas do tipo diverless guidelineless, devido ao pioneirismo da Petrobras na exploração em águas profundas – entre 1977 e 2000, a companhia instalou 386 árvores de natal na costa brasileira. Acompanham os sistemas de produção 60 manifolds, 2.221 km de linhas flexíveis, 1.394 km de umbilicais hidráulicos e 1.834 km de linhas rígidas.

Os mais tradicionais fabricantes de árvore de natal molhada com os quais a Petrobras conta são FMC-CBV, ABB, Kvaerner, Cooper-Cameron e Dril-Quip.

A árvore de natal submarina é um equipamento para uso submerso constituído basicamente por um conjunto de válvulas gaveta, um conjunto de linhas de fluxo e um sistema de controle a ser interligado ao painel localizado na plataforma de produção.

São as seguintes as válvulas de uma ANM:

- válvula mestra de produção: codificada como M1 (master 1);
- válvula lateral de produção: codificada como W1 (wing 1);
- válvula mestra do anular: codificada como M2 (master 2);
- válvula lateral do anular: codificada como W2 (wing 2);
- válvula de interligação: codificada como XO (crossover);
- válvula de pistoneio da produção: codificada S1 (swab 1);
- válvula de pistoneio do anular: codificada S2 (swab 2).



Figura 5 - Árvore de Natal Molhada no Poço

2.5 - PRODUÇÃO

Revelando-se comerciais, começa a fase de Produção no campo. Nesta fase, o óleo pode vir à superfície espontaneamente, impellido pela pressão interna dos gases. Nesses casos temos os chamados Poços Surgentes.

Para controlar esse óleo usa-se a Árvore de Natal. Quando, entretanto, a pressão fica reduzida, são empregados processos mecânicos, como o Cavalo de Pau (em poços terrestres),

montado na cabeça do poço e que aciona uma bomba colocada no seu interior. É utilizado para bombear o Petróleo para a superfície.

Nos sistemas de produção marítimos utilizam para a elevação os seguintes processos bombeamento hidráulico, centrífugo e a injeção de Gás e injeção de água.

A elevação do óleo e sua separação são feitas através de plataformas fixas especialmente construídas ou plataformas de perfuração, do tipo semi-submersível, adaptadas para produzir SSs e FPSOs (que são navios convertidos em plataformas e que dispensam a utilização de dutos para o escoamento da produção, pois executa esse escoamento via navios aliviadores). A Petrobrás desenvolveu tecnologia própria para produção marítima, através dos sistemas flutuantes de produção largamente utilizados na Bacia de Campos. Os êxitos sucessivos obtidos na concepção e operação desses sistemas colocaram a Companhia na vanguarda mundial da produção de Petróleo em águas profundas, onde o Brasil vem obtendo sucessivos recordes tecnológicos, destacando-se o de produção em maior lâmina d'água do mundo.

Entre a descoberta de uma jazida e o início da produção são mobilizados centenas de profissionais e aplicados bilhões de dólares para montar uma complexa infra-estrutura que permita a extração do Petróleo e seu escoamento até as refinarias. São necessários enormes investimentos para a construção de plataformas de produção marítima, oleodutos, gasodutos, estações coletoras de Petróleo, instalações de tratamento e terminais petrolíferos.

Junto à descoberta do Petróleo pode ocorrer, também, a do Gás Natural. Isso acontece, principalmente, nas bacias sedimentares brasileiras, onde o Gás Natural, muitas vezes, encontra-se dissolvido no Petróleo, sendo separado durante as operações de produção, denominado Gás Associado ao Petróleo.

Gás Natural é o Gás existente nas jazidas. Algumas vezes é produzido juntamente com o Petróleo, comum nos poços da Bacia de Campos. Há também o Gás Natural não-associado, existente em jazidas sem Petróleo, como nos poços do campo de Juruá, na Amazônia.

Ao sair do poço, o Petróleo não vem só. Embora existam poços que só produzem Gás, grande parte deles produz ao mesmo tempo Gás, Petróleo e água salgada. Isto prova que o óleo se concentra no subsolo, entre uma capa de Gás e camadas de água na parte inferior. Depois de eliminada a água em separadores, e separado o gás do óleo, o Petróleo é armazenado ou enviado por dutos (FPSO e SS, respectivamente) e segue para as refinarias ou terminais.

O Gás Natural é submetido a um processo onde são retiradas partículas líquidas. Após processado, o Gás natural é entregue para consumo industrial, inclusive na petroquímica. Parte deste Gás é reinjetado nos poços, para estimular a produção de Petróleo (processo de gás lift).

O Petróleo e o Gás descobertos não são totalmente produzidos. 80% não são produzidos pelas tecnologias atuais de extração, sendo que a técnica de estimulação de poços aumenta em até 10% essa extração.

Dos campos de produção, seja em terra ou mar, o Petróleo segue para as refinarias para futuro refino.

A produção em terra é armazenada em tanques de superfície, para depois se enviada para a refinaria, por “pipeline”, caminhão tanque ou navio tanque.

3. SISTEMAS DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

3.1 - EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Os sistemas de ancoragem até então existentes, em 1957, tinham seus pontos frágeis. A elasticidade do sistema de ancoragem e a sua hidrodinâmica expunham o navio-sonda ou a plataforma a movimentos causados por ondas, pelo vento e pela corrente. Além disso, a perfuração em grandes profundidades exigia o uso de muitos equipamentos (guinchos, âncoras, cabos, etc.) resultando em grande perda da “capabilidade” de manobra. Surgiu então, a necessidade de construir navios e plataformas com capacidade de manter a posição com a propulsão própria.

O termo “capabilidade”¹ é uma tradução livre da palavra em inglês *capability*, que designa os limites de degradação da posição de uma embarcação por excesso de solicitação dos propulsores em função de forças ambientais.

3.1.1 O projeto Mohole

O primeiro sistema de posicionamento dinâmico foi usado em 1957 no projeto americano chamado *Mohole*. A profundidade era em torno de 4.500 metros, muito grande para os sistemas de ancoragem da época.

Com quatro *thrusters* instalados na barcaça *CUSS I*, um transmissor lançado no solo marinho e quatro bóias posicionadas em um quadrante, a barcaça era capaz de se manter na locação. Em 9 de março de 1961, a mesma barcaça operou com o auxílio do sistema de posicionamento dinâmico, a uma profundidade de 948 metros, na costa de La Jolla, Califórnia. Alguns anos depois, a *CUSS I* realizou operações a uma profundidade de 3.560 metros, mantendo a posição dentro de um raio de 180 metros (KONGSBERG MARITIME AS, 2004).

¹ O termo “capabilidade” é uma tradução livre da palavra em inglês *capability*, que designa os limites de degradação da posição de uma embarcação por excesso de solicitação dos propulsores em função de forças ambientais.

3.1.2 Automação do sistema de posicionamento dinâmico

Em 1961, a empresa Shell Oil Company lançou o navio *EUREKA*, equipando-o com comandos automáticos dos propulsores. Em 1964, o navio *CALDRILL 1* foi entregue à Caldrill Offshore Company, com equipamento similar. O *EUREKA* operava a uma profundidade de 1.300 metros, com ondas de até seis metros de altura e ventos de até 21 m/s². Já o *CALDRILL* podia operar em profundidades de até 2.000 metros. A posição era obtida, e mantida usando-se o *taut wire* como sistema de referência.

Com o interesse de empresas francesas pelos sistemas de posicionamento dinâmico para o uso em lançamento de dutos no Mar Mediterrâneo, em 1963 foram construídos os navios *SALVOR* e *TEREBEL*.

No início da exploração de petróleo no Mar do Norte surgiu o interesse da Inglaterra e da Noruega pelos sistemas de posicionamento dinâmico. Em 1974, o *WIMPEY SEALAB*, um cargueiro convertido em navio-sonda, e em 1977 o *UNCLE JOHN*, uma plataforma semi-submersível, foram equipados com estes sistemas.

Da disputa comercial entre armadores noruegueses e a empresa Honeywell pela obtenção de serviços no Mar do Norte aumentou-se a pesquisa por novas tecnologias em Trondheim, pequena cidade norueguesa, e logo surgiu o primeiro sistema de posicionamento dinâmico norueguês. O primeiro navio a usar um sistema de posicionamento dinâmico norueguês foi o *SEAWAY EAGLE*, em 17 de maio de 1977.

Atualmente, os sistemas de posicionamento dinâmico são usados em diferentes tipos de operação, como pesquisas geológicas e militares e em navios de cruzeiro. Os princípios básicos do sistema de posicionamento dinâmico não mudaram, mas a evolução da ciência da informática e da computação possibilitou a operação e o controle do próprio equipamento simultaneamente.

Por definição, o sistema de posicionamento dinâmico é um sistema informatizado de posicionamento automático para navios e unidades flutuantes, sendo usado para manter um navio ou uma plataforma na posição, ou movê-los de uma posição para outra, a uma velocidade baixa (KONGSBERG MARITIME AS, 2004).

² m/s é uma unidade de velocidade, onde 1 m/s é igual a 1,94 nós.

3.2 - CLASSES DE EQUIPAMENTOS DP

3.2.1 Normas e diretrizes internacionais

Os navios que operam em posicionamento dinâmico recebem a classe de operação, segundo as normas da *International Maritime Organization* – IMO, e segundo as diretrizes da *International Marine Contractors Association* – IMCA³, ou do NMD⁴ – *Norwegian Maritime Directorate*.

Os navios que operam em posicionamento dinâmico são classificados em DP Classe I, DP Classe II ou DP Classe III, conforme o grau de redundância dos equipamentos.

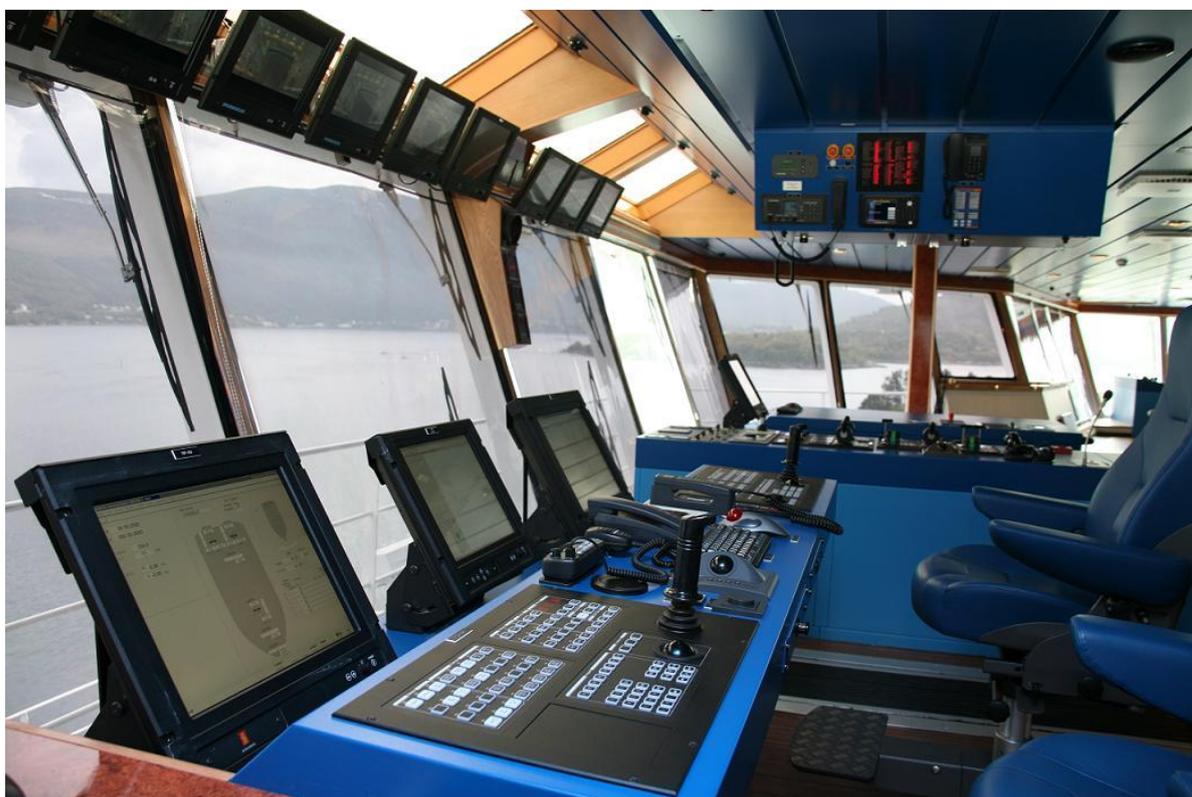


Figura 6 - Painel DP de uma PLSV

³ Associação de empresas de offshore sediada em Londres para promoção da segurança e para prestação de serviços de consultoria técnica em diversos assuntos relativos à atividade.

⁴ Agência governamental norueguesa subordinada ao Ministério do Comércio e da Indústria, responsável pela vida, pela saúde e pelo meio ambiente em navios de bandeira norueguesa ou nos navios com escala em portos daquele país.

3.2.2 Normas da IMO para navios com sistemas DP

O documento MSC/Circ. 645 da IMO surgiu em junho de 1994, e tornou-se aplicável a navios construídos do dia 1º de julho daquele ano em diante. É um documento aceito internacionalmente e estabelece normas relativas aos níveis de redundância em navios de posicionamento dinâmico. O nível de redundância deve permitir a manutenção do posicionamento dinâmico do navio após a perda de qualquer sistema ativo ou de qualquer componente do sistema de posicionamento dinâmico. As normas da IMO baseiam o nível de redundância em três classes de equipamentos: classes I, II e III. Quanto maior a classe, maior a demanda por redundância (KONGSBERG MARITIME AS, 2004).

Redundância significa a capacidade de um componente ou de um sistema manter ou restabelecer a sua função, na ocorrência de uma única falha. A redundância pode ser obtida através da instalação de múltiplos componentes, sistemas ou através da introdução de meios alternativos de se desempenhar determinada função (IMO, 1994, p. 4).

O *worst case failure* é a falha considerada como a base para o projeto de um sistema DP considerada no software de *Failure Modes and Effects Analysis* – FMEA do equipamento. Normalmente se refere a um número de *thrusters* e de geradores que podem falhar simultaneamente e que são usados no cálculo da chamada “*consequence analysis*” (IMCA, 2007).

O propósito do cálculo da *consequence analysis* pelo sistema de DP é “dar informações aos operadores, de forma que eles possam estimar, a partir da potência disponível e da propulsão usada, se os limites de trabalho seguros foram excedidos” (IMCA, 2007, p. 13).

As classes de equipamento DP são definidas pelo *worst case failure modes*, a saber:

Para os equipamentos da Classe I, pode ocorrer perda de posição por um único *failure mode*⁵.

⁵ Os *failure modes* e seus efeitos considerados no FMEA do navio são: primeiramente, a perda súbita da maioria dos itens do equipamento DP; segundo, a perda súbita ou consecutiva de vários itens interdependentes do equipamento DP, e; terceiro, as várias falhas de instabilidade no controle e no seu modo de detecção e isolamento.

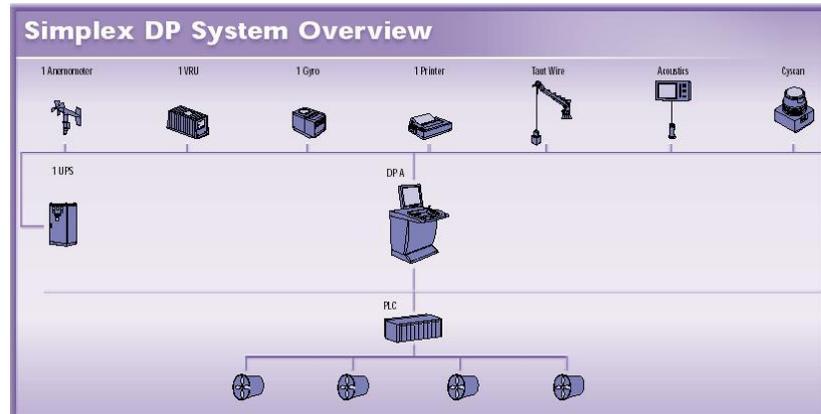


Figura 7 – Esquema Componentes DP Classe I

Para os equipamentos da Classe II, a perda de posição não deve ocorrer por uma única falha de qualquer componente ativo ou do sistema. Normalmente, os componentes estáticos são presumidos isentos de falhar onde for demonstrada proteção contra dano adequada, sendo a confiabilidade atestada pela Administração⁶. Para os equipamentos Classe III, uma única falha inclui:

- a) Os itens citados na Classe II, sendo que qualquer componente estático normal é presumido de poder falhar;
- b) Todos os componentes em qualquer compartimento estanque, a fogo ou a alagamento, e;
- c) Todos os componentes em qualquer subdivisão de incêndio, estanque contra o fogo ou contra o alagamento (IMO, 1994, p. 5).

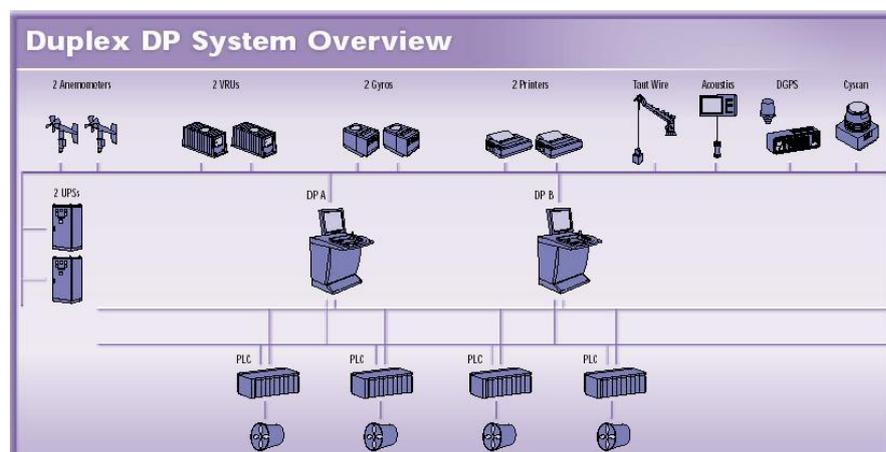


Figura 8 - Esquema Componentes DP Classe II

⁶ Administração é o representante da autoridade marítima do país.

Os equipamentos Classe I referem-se a navios sem redundância. A Classe II é relativa a navios com redundância completa de sistemas e equipamentos, enquanto os navios Classe III são capazes de suportar a perda de todos os sistemas em qualquer compartimento por efeito de um incêndio ou por efeito de um alagamento.

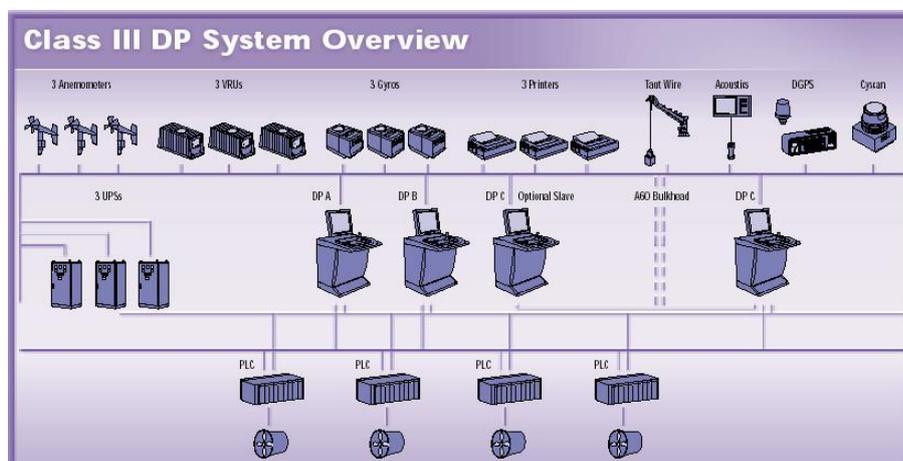


Figura 9 - Esquema Componentes DP Classe III

A classe de equipamento de DP exigida do navio, para determinada operação, deve ser acordada entre o armador e o cliente baseada em uma análise de risco por consequência da perda de posição. A Administração ou o Estado Costeiro podem decidir qual a classe de equipamento é mais adequada para a operação. O nível de redundância é evidenciado na Notação de Classe DP emitida pela Sociedade Classificadora.

3.2.3 Diretrizes da IMCA para navios com sistemas DP

A publicação IMCA M103 - *Guidelines for the design and operation of dynamically positioned vessels, 2007* é recomendável a todos os navios com sistemas de posicionamento dinâmico e contém uma seção introdutória relativa a todos os tipos de navios DP. As seções seguintes são relativas a tipos específicos de navio, a saber: navios de apoio a mergulho, navios-sonda, unidades flutuantes de produção, floteis, balsas-guindaste, navios aliviadores, navios lançadores de dutos, navios de apoio e pesquisa.

Na seção introdutória deste documento são feitas algumas considerações sobre a redundância, basicamente reconhecendo as referências feitas às classes de equipamentos DP pelas normas da IMO para navios com sistemas de posicionamento dinâmico.

Na Seção 9 da publicação são obtidos alguns parâmetros e padrões mínimos de construção e de operação de navios DP com ROV, classificados pela publicação como *ROV Support Vessels*, classe na qual se incluem as embarcações AHTS equipadas com ROV.

A subseção 9.1 dispõe sobre os requisitos mínimos para um navio DP com ROV, onde:

Nenhum conhecido *single failure mode* deve causar perda de posicionamento que possa resultar em colisão com outro navio, linha de ancoragem ou estrutura *offshore*.

A determinação dos limites de segurança para o trabalho deve considerar a locação onde a operação ocorrer e o tempo necessário para recuperar a posição, bem como o tamanho relativo do navio e de qualquer estrutura próxima. (IMCA, 2007, p. 60).

Na subseção 9.2, o documento dispõe sobre a redundância em termos gerais e em relação ao número de propulsores, à geração de energia, ao controle de posição e aos sensores de referência.

Para os navios com ROV, é desejável que haja redundância para reduzir os efeitos de falhas e para aumentar os limites de segurança. De acordo com a subseção 9.2.1, o nível de redundância é definido entre o armador e os engenheiros projetistas para “otimizar e alcançar os limites de segurança, práticos e viáveis economicamente” (IMCA, 2007, p. 66).

Conforme a subseção 9.2.2, não é exigida redundância de propulsores onde não houver risco às pessoas ou às estruturas no caso de ocorrer perda de posição, sendo a “perda do ROV considerada apenas comercial” (IMCA, 2007, p.66). Para trabalhos de apoio dentro da zona de 500 metros ao redor de estruturas *offshore*, a redundância de propulsores deve ser avaliada conforme a seção 1 da publicação. Como consequência, pode ser permitida a operação do navio apenas com boa condição de tempo, ou a sotavento da estrutura.

Se o limite de segurança exigido refletir o fato de que o navio possa sofrer um *blackout* e ainda assim, atender às exigências da subseção 9.1, não existe nenhuma exigência por geradores sobressalentes ou por automação do gerenciamento de energia. Embora navios com redundância de geradores possam ter maiores limites de segurança e disponibilidade operacionais, não há muita vantagem em prover um nível exagerado de redundância quando falhas individuais são consideradas.

O posicionamento dinâmico com um simples sistema de controle automático com um *joystick* é considerado pela IMCA M103 (2007, p. 66) como “adequado para operações em mar aberto”. Pode ser necessário ter recursos de auto-rastreamento do ROV para operações de inspeção, com um *transponder* instalado no ROV para rastreamento e recolhimento. Se a

operação exigir que o navio trabalhe em DP, próximo a estruturas, é essencial que o sistema não possa inadvertidamente mudar de curso de forma a proporcionar risco de colisão. Também é essencial que a descarga dos propulsores possa ser parada e revertida para evitar colisão, mesmo que ocorra falha no sistema de DP. O navio DP com ROV deve estar capacitado para operar em qualquer lado de uma estrutura *offshore* (a barlavento ou a sotavento), desde que o *worst case failure* não deixe o navio sem energia para se mover fora da zona de 500 metros.

Quanto aos sistemas de referência, pode ser aceito apenas um sensor de referência de posição, um anemômetro, uma *Motion Reference Unit* - MRU e uma agulha giroscópica, para o controle do DP quando operando livre de estruturas *offshore*, especialmente se o *transponder* acústico no ROV puder ser usado quando o sensor de posição em uso (normalmente o DGPS) falhar.

A comunicação entre o controle do DP, a sala de controle de máquinas, a sala *ROV On Line*⁷ e a estação de operação dos *surveyors* deve ser totalmente redundante.

Deve existir um conjunto de alarmes no sistema de DP para auxiliar o operador. Os alarmes devem indicar que:

- a) a operação pode prosseguir normalmente (luz verde contínua);
- b) o navio sofreu uma falha e o ROV deve ser posicionado no solo marinho como um sistema de posicionamento acústico (luz amarela intermitente), e;
- c) houve perda de posição (luz vermelha intermitente).

Em relação ao nível de treinamento e de experiência necessários ao pessoal envolvido na operação do DP dentro da zona de 500 metros de uma estrutura *offshore*, devem ser consideradas as circunstâncias e as condições, bem como o tempo no qual o navio ficará operando na locação.

Para operações dentro da zona de 500 metros de uma estrutura *offshore* ou para operações com mais de duas horas de duração, deve-se ter dois operadores de DP em serviço, podendo ser um dos operadores o Comandante. Em mar aberto, fora da zona de 500 metros de uma estrutura *offshore*, apenas um operador de DP familiarizado com o equipamento é suficiente, pois não há risco ao navio ou à tripulação no caso de haver perda de posição.

⁷ *ROV On Line* é a estação de controle que fica na superestrutura da embarcação onde o ROV é controlado pelo supervisor e pelos pilotos.

3.2.4 Normas e regulamentos da Noruega

Embora as normas da IMO sejam aplicadas nas normas e regulamentos noruegueses, elas são superpostas por outras mais restritivas em muitos pontos. As autoridades norueguesas no assunto são: o NMD – *The Norwegian Maritime Directorate* e o NPD – *The Norwegian Petroleum Directorate*.

A interpretação norueguesa das classes de equipamento DP é similar à interpretação da IMO, onde:

a) na Classe I, as operações não são consideradas como prejudiciais à vida humana, como causadoras de significativa avaria ou como causadoras de não mais que mínima poluição;

b) na Classe II, a perda de posição pode causar acidentes pessoais, poluição ou avaria com grandes conseqüências econômicas, e;

c) na Classe III, a perda de posição pode causar acidentes fatais, poluição severa ou avaria com enormes conseqüências econômicas.

A diferença entre a interpretação norueguesa e a interpretação da IMO é que a NMD especifica critérios definidos na escolha da classe de equipamento DP como conseqüência da perda de posição, enquanto as diretrizes da IMO deixam a decisão a critério do armador e do cliente, baseada numa análise de risco. No esquema norueguês também é necessária uma análise de risco uma vez que os critérios citados acima são muito subjetivos e sujeitos às muitas diferenças de interpretação.

3.3 - REGULAMENTAÇÃO PARA SER OPERADOR DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

A estrutura do curso de treinamento para DPOs obterem o certificado do Nautical Institute é atualizada periodicamente .

A estrutura atual para DPOs é a seguinte:

Fase 1 - Presença em um curso de Iniciação/Básico de DP em um centro de treinamento aprovado ou organizado a bordo, no qual é apresentada uma introdução sobre as

funções e a utilização do sistema de posicionamento dinâmico, ou como um DPO em treinamento sob a supervisão de um operador de DP sênior.

Fase 2 - Experiência prática documentada no uso de sistemas de DP em embarcações com esse sistema pelo período mínimo de 30 dias como DPO em treinamento após a conclusão do curso básico/introdução. NB A experiência prática referida deve estar de acordo com o capítulo C do livro de registro do operador de DP do NI – Seagoing Familiarisation Watchkeeping (Turnos em Viagem para Familiarização).

Fase 3 - Presença em um curso de simulador de DP, realizado em um centro de treinamento aprovado ou a bordo de embarcação. O curso deve oferecer treinamento no uso de sistemas de DP, incluindo exercícios de simulador e operações de emergência. Fase 4 - Confirmação documentada do período mínimo de seis meses de serviço supervisionado em DP, dependendo do nível de certificação desejado, em livro de registro de DP aprovado pelo Comandante, e da frequência e conclusão do programa de treinamento citado acima, resultarão na emissão de um certificado de DP pelo órgão aprovado. É necessário ter cuidado para que o período de seis meses da Fase 4 inclua treinamento prático suficiente, como a manobra da embarcação usando joystick, mudança de DP automático para joystick em trânsito e vice versa. Isso pode causar dificuldades em algumas situações, como em “flotéis” ou em operações de perfuração, os quais se caracterizam por longos períodos de operação de DP estático, com a unidade na mesma proa e posição por vários meses. A obtenção de um certificado de DPO do NI (ou do NMD) não garante a formação de um DPO sênior totalmente qualificado e capaz de tratar de qualquer situação de DP. O certificado mostra que o DPO foi treinado nos processos básicos de DP e pode exigir treinamento adicional específico na embarcação e no equipamento.

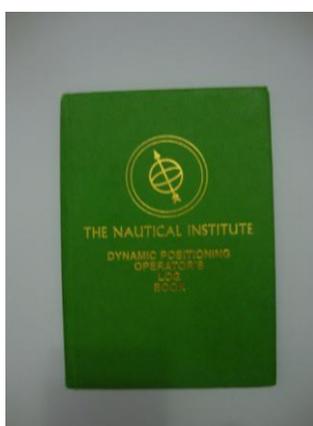


Figura 10 - Dynamic Position Watchkeeping Log Book

E segundo a autoridade marítima do Brasil, segue abaixo os requisitos mínimos para ser DPO:

- 1) a classe do equipamento para o estabelecimento da qualificação do operador de DP;
- 2) que o operador tenha cumprido o Programa de Qualificação previsto no Livro Registro do Operador de Posicionamento Dinâmico (DP) da DPC (DPC-1101) ou no do Nautical Institute de Londres (*Dynamic Position Watchkeeping Log Book*), além de portar o Certificado de Operador de DP Pleno (Full)⁸ ou Restrito (Limited)⁹;
- 3) que a operação de DP deverá ser exercida por aquaviários empregados, exclusivamente, nesta função, salvo quando o acúmulo de outras funções não resultar em prejuízo para a segurança da embarcação, das pessoas a bordo ou não implicar em excesso de funções para o operador de DP; e
- 4) que nas plataformas, a função de operador de DP pode ser exercida por tripulante não aquaviário com certificação reconhecida pela DPC

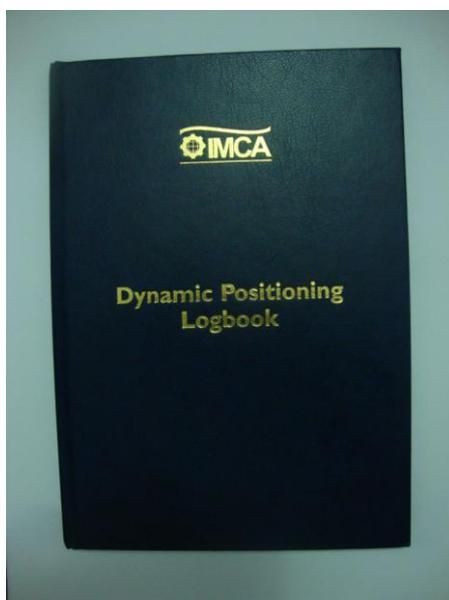


Figura 11 - IMCA Dynamic Positioning Logbook

⁸ Certificado Pleno - apto a operar embarcações DP com equipamentos classes 1, 2 ou 3.

⁹ Certificado Restrito - somente poderá operar embarcações DP com equipamentos classe 1.

3.4 - SISTEMAS ACÚSTICOS DE REFERÊNCIA

O sistema acústico de referência consiste de um ou mais transdutores (**figura 12**) em um navio comunicando-se com um ou mais *transponders* (**figura 13**) posicionados no solo marinho. Os transdutores são arriados sob o casco do navio e “interrogam” o *transponder*, quando este é lançado no fundo do mar. Quando o transdutor recebe a resposta do *transponder* em frequência apropriada, é capaz de determinar a distância e a direção do *transponder*. Define-se a posição do navio relativa ao *transponder* e esta informação é transmitida ao sistema de posicionamento dinâmico.

Transmitter elements
Receiver elements

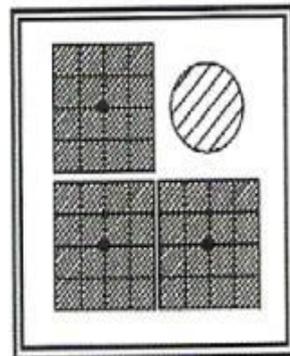
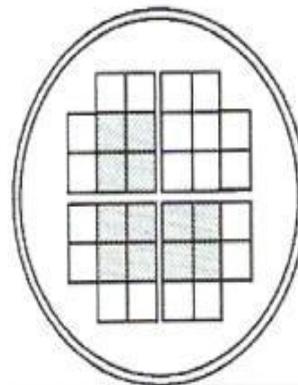
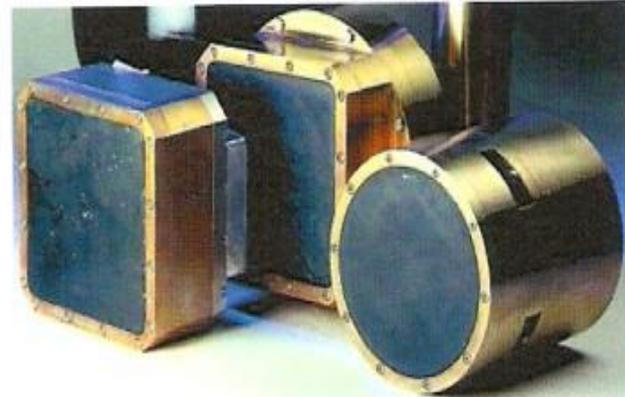


Figura 12 – Transdutor multi-elemento



Figura 13 – Transponders

Os sistemas acústicos de referência atualmente disponíveis são capazes de fornecer o posicionamento de navios em locais com profundidades de até 3.700 metros, com uma precisão absoluta de três a cinco metros, ou uma precisão relativa menor que dois metros.

As distâncias das linhas de base acústicas, isto é, a distância entre os sensores ativos, é a referência para se determinar o modo acústico de referência, conforme a **tabela 1**:

MODO ACÚSTICO DE REFERÊNCIA	COMPRIMENTO DA LINHA DE BASE
Ultrashort Baseline (USBL)	Menor que 10 cm (4")
Short Baseline (SBL)	20 m a 50 m (60" a 160")
Long Baseline (LBL)	100 m a 6.000 m+ (350" a 20.000")

Tabela 1 – Distância das linhas de base acústica

3.4.1 MODO ACÚSTICO EM USBL

O modo acústico em USBL mede a comparação entre as fases de um pulso recebido pelos elementos individuais de um transdutor multi-elemento. Essa comparação entre as fases é usada para determinar a marcação entre o transdutor USBL e o alvo, normalmente um *transponder*. Este último, através da velocidade de resposta à frequência do transdutor,

possibilita ao sistema determinar a distância entre eles. A **figura 14** ilustra o posicionamento no modo USBL.

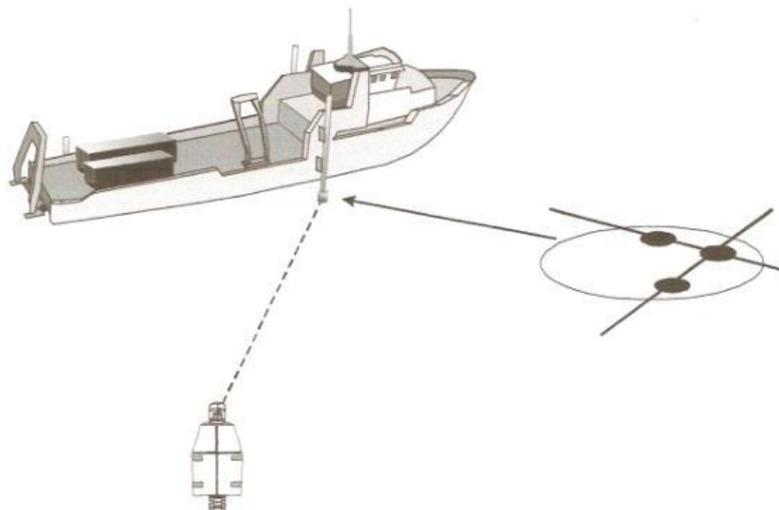


Figura 14 – Posicionamento em USBL

O autor Keith Vickery, em seu trabalho *Acoustic Positioning Systems* faz menção às vantagens e desvantagens deste modo de posicionamento acústico.

As principais vantagens são: a baixa complexidade do sistema, a dispensa do lançamento de *array* de *transponders*, a instalação de apenas um transdutor no navio e a boa precisão das marcações realizadas. (VICKERY, 1998, p. 4)

8 Posicionamento de, no mínimo, três *transponders* no solo marinho para realizar a triangulação e a determinação da posição através do sinal acústico emitido por um transdutor do navio ou da plataforma.

As principais desvantagens, segundo o mesmo autor, são: a necessidade de uma calibração perfeita do sistema; a dependência de outros sensores do navio, como a agulha giroscópica e a VRU, para obter-se a precisão absoluta de posição; a redundância mínima e; a necessidade de uma válvula de fundo grande com alinhamento perfeito, para passagem do transdutor.

3.4.2 MODO ACÚSTICO EM SBL

Neste modo acústico, apenas um *transponder* responde à mesma frequência interrogada por vários transdutores do navio.

As principais vantagens do modo em SBL, citadas por Vickery (1998, p. 5) são: a facilidade de operação devido à baixa complexidade do sistema; a redundância espacial; a dispensa do uso do *array* de transponders, e; o uso de pequenos transdutores e de pequenas válvulas de fundo.

Ainda segundo este autor, as principais desvantagens são: sistema dependente de extensas linhas de base (maiores do que 30 metros) para precisão em águas profundas; necessidade de excelente alinhamento da estrutura dos transdutores; necessidade de calibração detalhada do sistema; precisão da posição absoluta dependente de outros sensores do navio, como a agulha giroscópica e a VRU, e; necessidade de pelo menos três transdutores. A **figura 8** ilustra o posicionamento por SBL.

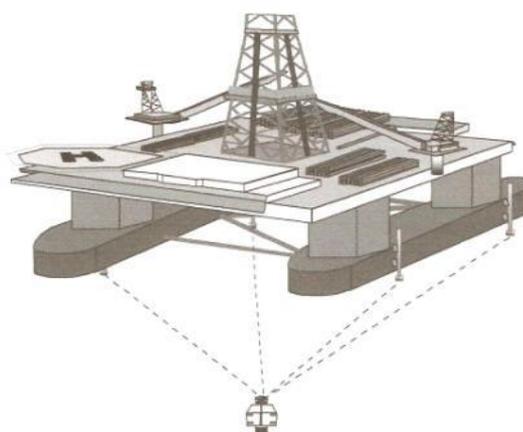


Figura 15 – Posicionamento em SBL

3.4.3 MODO ACÚSTICO EM LBL

Os sistemas de referência, quando em LBL determinam posição a partir do lançamento de um *array* de, no mínimo, três *transponders* no solo marinho.

As principais vantagens deste sistema são: posição precisa, independentemente da profundidade; redundância de observação; capacidade de prover posição precisa em grandes áreas; dispensar a agulha giroscópica ou a VRU, e; uso de apenas um transdutor pequeno.

Ainda segundo o autor Keith Vickery, as principais desvantagens são: sistema complexo, necessitando de operadores experientes; alto custo do material empregado no *array*; tempo utilizado no lançamento do *array* de *transponders*, e; o fato de cada *array*

necessitar de uma calibração bem complexa e extensiva. A **figura 16** ilustra o posicionamento por LBL.

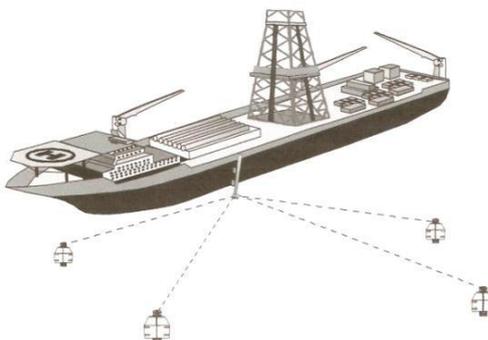


Figura 16 – Posicionamento em LBL

3.4.4 MODO ACÚSTICO ADEQUADO ÀS OPERAÇÕES

A poluição acústica, devido à realização de diversas operações submarinas simultâneas é um sério problema para os sistemas acústicos, principalmente nas regiões a oeste das Ilhas Shetland, no Brasil e no Golfo do México, segundo o autor Keith Vickery (1998, p. 7)

Diversas técnicas podem ser usadas para estabelecer uma comunicação exclusiva entre o transdutor de determinado navio e o *transponder(s)* em uso, entre elas a escolha da banda de frequência. A **tabela 2** informa as bandas de transmissão e as frequências correspondentes de acordo com a profundidade da locação.

BANDA DE TRANSMISSÃO	FAIXA DE FREQUÊNCIA	ALCANCE MÁXIMO
Low Frequency (LF)	8 KHz a 16 KHz	Maior que 10 Km
Medium Frequency (MF)	18 KHz a 36 KHz	2 Km a 3,5 Km
High Frequency (HF)	30 KHz a 60 KHz	Menor que 1.500 m
Extra High Frequency (EHF)	50 KHz a 110 KHz	Menor que 1.000 m
Very High Frequency (VHF)	200 KHz a 300 KHz	Menor que 100 m

Tabela 2 – Bandas e frequências de transmissão x profundidades

Normalmente, a seleção da banda de frequência está relacionada à precisão de posição necessária ao navio, de acordo com a profundidade do local.

Os diversos sistemas acústicos existentes operam em todas as bandas de frequência. A maioria dos sistemas acústicos operando em águas muito profundas usa a banda LF. A maioria dos sistemas acústicos em LBL e USBL aplicados no posicionamento dinâmico de navios realizando operações de pesquisa e construção opera em banda MF. Medições de engenharia normalmente usam a banda EHF.

A opção pelo posicionamento acústico por LBL, SBL ou USBL é feita conforme a necessidade de precisão na operação a realizar. Uma excelente precisão de posição de um sistema convencional por LBL é independente da profundidade, porém extremamente dependente da frequência de operação. A **tabela 3** faz a relação entre a frequência e a precisão exigida.

BANDA DE TRANSMISSÃO	FAIXA DE FREQUÊNCIA	PRECISÃO
Low Frequency (LF)	8 KHz a 16 KHz	2 m a 5 m
Medium Frequency (MF)	18 KHz a 36 KHz	0,25 m a 1 m
High Frequency (HF)	30 KHz a 60 KHz	0,15 m a 0,25 m
Extra High Frequency (EHF)	50 KHz a 110 KHz	Menor que 0,05 m
Very High Frequency (VHF)	200 KHz a 300 KHz	Menor que 0,01 m

Tabela 3 – Comparação entre bandas de transmissão, frequências e a precisão

A precisão dos sistemas acústicos em SBL e USBL é inversamente proporcional à profundidade, ou seja, quanto maior a profundidade, menor será a precisão.

A profundidade de operação, a precisão exigida, e também o tempo exequível para o lançamento do *array* de *transponders* em LBL são os fatores técnicos que determinam a opção pelo posicionamento acústico por LBL, SBL ou USBL. Como a maioria dos ROVs atualmente em operação possui um *responder/transponder* instalado, muitas operações com pouca exigência por precisão são realizadas em USBL.

Além do exposto acima, a opção por LBL, SBL ou USBL é um item contratual, com preponderância da opção do cliente.

4. TECNOLOGIA EMPREGADA NAS EMBARCAÇÕES OSCV

Uma embarcação OSCV (*Offshore Support Construction Vessel*) é uma embarcação com alto nível de precisão em operações de posicionamento dinâmico (DP) Classe 2 ou 3, dois ROVs e a capacidade de lançá-los pelo moonpool (abertura no casco, pelo qual pode-se lançar dispositivos ao mar) evitando sofrer os efeitos das condições climáticas ou, se o espaço for limitado, lançamento pelos bordos, fornecendo as melhores condições possíveis para a operação do ROV ser mais rápida, segura e eficiente. Deve ser projetado para acomodar pelo menos 100 pessoas, além de prover espaços para escritórios e salas de operações para o controle do ROV, Survey (Profissional que executa e vistoria as tarefas solicitadas pela contratante) e fiscalização da contratante.



Figura 17 – Maquete do OSCV Skandi Salvador

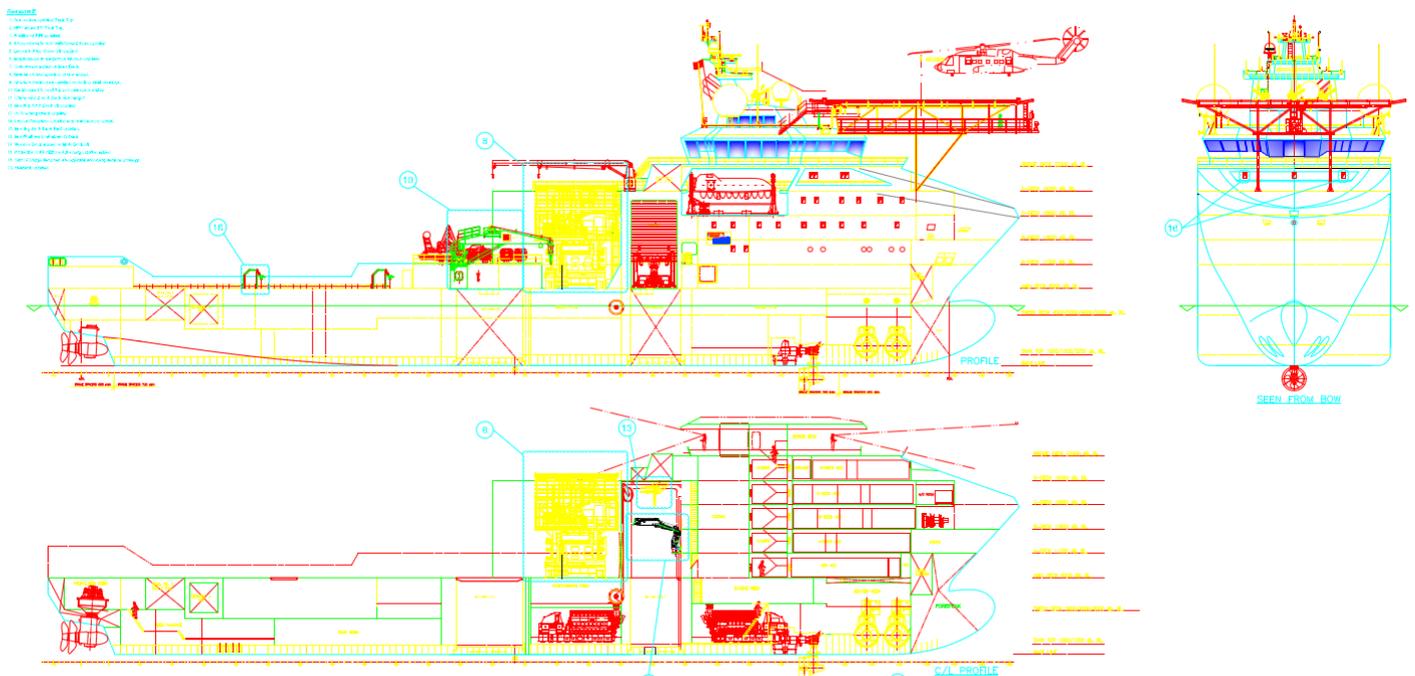


Figura 18 – Arranjo Geral do Skandi Salvador projeto Aker ROV 06

4.1 - ROVS E SUAS CLASSIFICAÇÕES

O termo ROV compreende uma grande variedade de tipos de equipamentos e nenhum ROV pode ser descrito como “típico”. Não apenas são inúmeros os projetos de ROV’s, como também estes podem ser modificados para executar diferentes tarefas (IMCA, 2009, p.5).

Os ROVs podem ser lançados na água em *free-swimming*¹⁰, gaiola ou através do *Theter*¹¹ *Management System – TMS* (figura 19). No ROV que navega em *free-swimming*, o cabo armado do guincho é conectado diretamente no veículo. No sistema com TMS, o veículo é lançado na água conectado à TMS e, ao atingir a profundidade de operação, é desconectado e pode navegar submerso até uma determinada distância do TMS, limitada pelo comprimento do *tether*.

¹⁰ *Free-swimming* é um modo de navegação do ROV em que não há acoplamento deste na TMS.

¹¹ *Tether*, cabo umbilical.



Figura 19 – ROV acoplado na TMS

Existem cinco classes de ROV, podendo ser lançados em *free-swimming* ou conectados à TMS (IMCA, 2009, p. 5-6):

- a) classe I – ROV's de observação (*observation ROVs*);
- b) classe II – ROV's de observação com acessórios opcionais (*observation ROVs with payload option*);
- c) classe III – ROV's de trabalho (*work-class vehicles*);
- d) classe IV – ROV's tratores e rebocados (*towed and bottom-crawled vehicles*), e;
- e) classe V – protótipos e veículos em desenvolvimento (*prototype and development vehicles*).

4.1.1 Classe I - ROV's de observação

Estes veículos são pequenos e equipados apenas com luzes, câmeras e um *sonar*. São utilizados apenas para observação, embora possam ser capazes de operar outro sensor adicional, bem como outra câmera de vídeo.

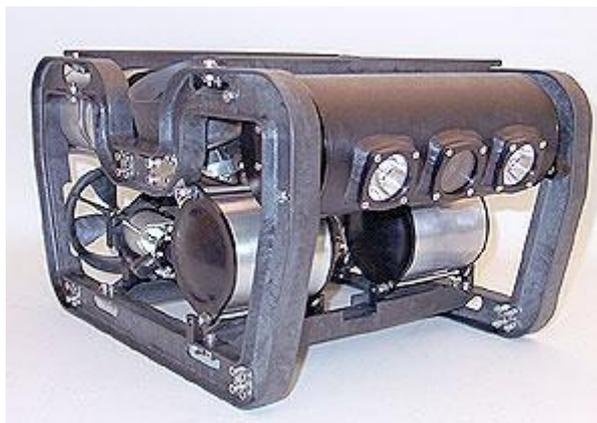


Figura 20 – SM 1000 low cost ROV system

4.1.2 Classe II - ROV's de observação com acessórios opcionais

Estes veículos são equipados com duas câmeras / sonares simultâneos como padrão e são capazes de operar diversos sensores adicionais. Também podem possuir uma capacidade de manipulação básica. Devem ser capazes de operar sem perder a sua função original, mesmo usando dois sensores / manipuladores adicionais.



Figura 21 – Falcon ROV

4.1.3 Classe III – ROV's de trabalho

Estes veículos têm tamanho suficiente para transportar sensores e manipuladores adicionais. Comumente têm múltiplas capacidades permitindo que sensores e ferramentas adicionais sejam operados sem a necessidade de cabos ao longo do cabo armado ou do umbilical. São normalmente mais potentes que os ROV's classe I e II. Os navios de manuseio de âncoras são equipados com ROV desta classe.



Figura 22 – Installer work class ROV



Figura 23 – CS150 construction support ROV

4.1.4 Classe IV – ROV's tratores e rebocados

Os veículos rebocados são lançados na água através de um guincho e têm capacidade de propulsão e manobra limitadas. ROV's tratores usam apenas rodas ou um sistema de esteiras para se mover sobre o solo marinho, embora alguns possam ser capazes de "nadar" pequenas distâncias. São normalmente grandes e pesados, sendo designados para tarefas específicas, como assoreamento de cabos e dutos submarinos.



Figura 24 – 2.4MW rock trencher

4.1.5 Classe V – protótipos e veículos em desenvolvimento

Esta classe de ROV compreende aqueles sendo desenvolvidos e os protótipos. Veículos de propósitos especiais que não se enquadram nas outras classes são designados como classe V. Esta classe inclui os chamados *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV*s).



Figura 25 – Explorer 5000 AUV

4.2 - TANQUES ANTI-HEELING

Quando o navio aderna em qualquer um dos seus bordos, ou seja, bombordo ou boreste, e não volta à sua posição vertical (navio adriçado) denomina-se como adernamento do navio. O adernamento não é seguro para o navio, suas máquinas e as pessoas a bordo. Os principais motivos do adernamento do navio são os ventos fortes, guinada brusca e rápida e carregamento de cargas irregulares. Das três razões, a causa mais comum é o carregamento irregular.

O sistema *anti-heeling* de um navio detecta automaticamente o ângulo de adernamento do navio e compensa o mesmo. Isso permite que a embarcação permaneça adriçada na operação de carga e descarga sem parar no meio para a correção do adernamento. Isso economiza tempo considerável no porto.

Neste sistema, os tanques de lastro são internamente conectados uns aos outros por meio de tubulações, válvulas automáticas e sistemas de controle. Quando o navio aderna para qualquer um dos bordos, o sensor de inclinação envia o sinal para a mudança de ângulo do navio em relação à posição vertical do instalado no painel de controle. Esta mudança no ângulo de inclinação é compensada pelo métodos de auto transferência de água do bordo adernado para o outro bordo do navio, fazendo com que a embarcação permaneça adriçada.

Interruptores de controle de nível também são instalados nos tanques envolvidos com o sistema *anti-heeling* para evitar baixo nível ou transbordo do tanque.

Existem dois sistemas *anti-heeling* amplamente utilizados a bordo de navios:

- 1) **Sistema pneumático:** Este sistema é composto de arranjo de ar de limpeza e sistema de válvula reguladora para forçar o ar na parte superior do tanque de lastro. O ar é forçado em um tanque e removidos do outro, tornando o fluxo de água pressurizada rapidamente a partir para o tanque purgado. Esta transferência de água é utilizado para retornar com o navio para a posição vertical em tempo rápido.

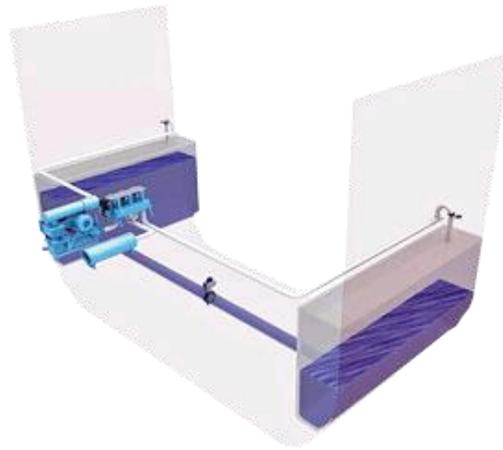


Figura 26 – Sistema Pneumático de Tanque *Anti-Heeling*

- 2) **sistema de bomba de água:** O sistema de bomba de água consiste em uma bomba acionada por um motor elétrico, que bombeia a água de um bordo para o outro, isso é, do tanque de boreste para o de bombordo e vice-versa. A bomba pode ser reversível ou não reversível, conectado com o controle remoto das válvulas controladas que direcionam o fluxo de água de lastro entre os tanques.

É importante mencionar que este sistema só opera em automático durante a estadia do navio no porto, já que as condições meteorológicas nas áreas offshore induzem os movimentos naturais da embarcação (balanço e caturro) o que acarretaria ineficiência do sistema para o lançamento e conexão da Árvore de Natal no poço. Nessas operações o sistema *anti-heeling* é utilizado no modo manual por um Oficial de Máquinas na sala de controle da embarcação.

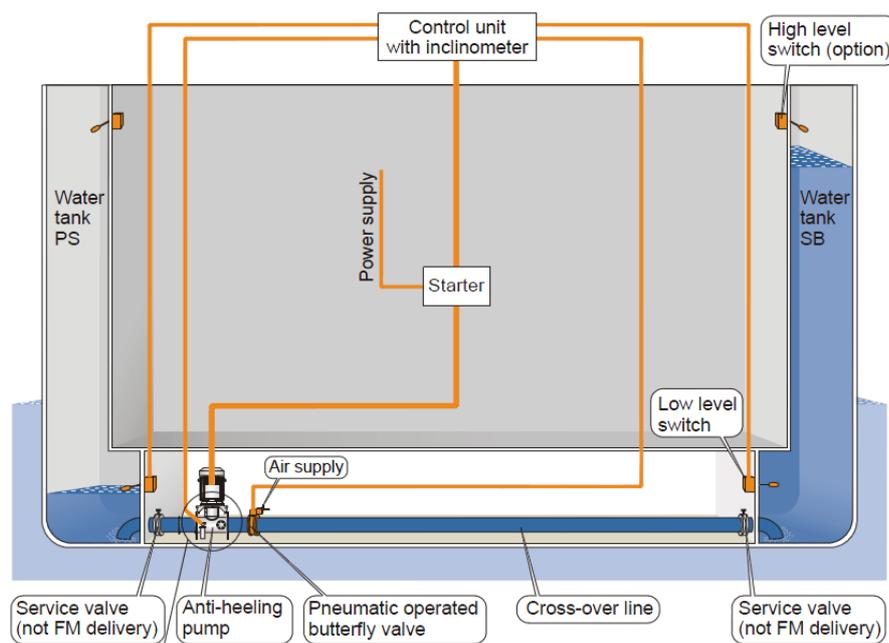


Figura 27 – Sistema de Tanque anti-heeling por bomba de água

4.3 - GUINDASTE COM SISTEMA DE COMPENSADOR DE HEAVE

Para a instalação da Árvore de Natal no poço petrolífero precisa-se de precisão e o movimento de *heave*¹² da embarcação precisa ser compensado. O compensador de *heave* do guindaste de bordo realiza essa compensação.



Figura 28 – Guindaste de 140 toneladas com compensador de *heave*.

4.3.1 Descrição do Sistema de Compensação de Heave:

O sistema de compensação é controlado pelo sistema de controle do guindaste (CCS¹³). O CCS obtém o valor de *heave* da embarcação pela sua MRU¹⁴. O CCS calcula a posição do cabo de aço, e controla as bombas hidráulicas para acionar o guincho para a posição correta.

Desta forma, a influência de *heave* fica nula para a instalação da Árvore de Natal no poço petrolífero.

Antes de qualquer operação, o guindasteiro precisa fazer a seguinte lista de checagem:

¹² *Heave*: Movimento de arfagem de uma embarcação.

¹³ CCS: Crane Control System

¹⁴ MRU (“*Motion Reference Unit*”), fornece basicamente os valores das movimentações “pitch” e “roll” da embarcação a fim de corrigir os sinais dos Sistemas de Referência de Posição Acústicos e DGPS, distorcidos em função da movimentação de seus respectivos receptores. Tendo em vista a precisão necessária das “compensações” dos movimentos em torno dos eixos transversal e longitudinal.

	Para ser verificado:	Sim	Não	Observações
1	Arriar passarelas e checar se o pedestal está livre de quaisquer obstruções.			
2	Verificar se todas as paradas de emergências estão resetadas.			
3	Testar a buzina			
4	Verificar se foi feito o spooling correto dos cabos nos tambores.			
5	Verificar os bloqueios dos “gatos” principais e secundarios.			
6	Checar se não há qualquer manutenção sendo feita na área que conflita com a operação.			
7	Checar se o seletor do guincho está correto, pelo monitor e luz indicadora, antes de movimentar do berço.			
8	Checar se há uma pessoa coordenando no deck, com rádio.			
9	Checar todas as comunicações (UHF/VHF/Telefone e etc.).			
10	Permissão para operar com o guindaste e se o passadiço foi informado a respeito da operação.			
11	Verificar se a tubulação de água está pressurizada e se os limpadores da vigia encontram-se operacionais.			
12	Verificar se os holofotes e iluminação para aviação encontram-se operacionais.			

Tabela 4 – Lista de checagem do guindasteiro

5. PROCESSO DA INSTALAÇÃO DA ÁRVORE DE NATAL

5.1 - EMBARQUE DA ÁRVORE DE NATAL

Alguns passos devem ser obedecidos para embarque da Árvore de Natal a bordo:

1. Antes de içar a Árvore de Natal para bordo, todo equipamento utilizado para tal deve ser posicionado no convés da embarcação de modo a permitir que os engenheiros da FMC¹⁵ façam a devida inspeção para garantir a integridade do equipamento.
2. Realizar um teste de elevação, a fim de garantir o raio adequado para içamento da Árvore para ser colocada na base no convés e onde será posicionado o caminhão, que está em trânsito com a mesma, para uma operação segura.
3. Com a Árvore no caminhão o engenheiro da FMC acessa o topo dela, retire a tampa de transporte e instala a tampa de manipulação da Árvore, solicitando a remoção de toda a peça realizada.
4. Confirmar se o plano de içamento está completo, que o motorista do caminhão não está na cabine e colocar barreiras para que o pessoal não envolvido na operação permaneça fora da área da parte de ré do navio e do cais.
5. Informar ao passadiço o início da operação para transferência da Árvore de Natal para o convés principal da embarcação e que todo o procedimento necessário do tanque *Anti-Healing* (tanque de compensador de balanço) está completo.
6. Após colocar a árvore na base do convés principal da embarcação, deve-se instalar a junta VGX-2 e os engenheiros da FMC devem fazer uma inspeção visual completa.
7. Pear a Árvore de Natal na embarcação para viagem até o campo petrolífero e realizar os testes na mesma.

¹⁵ Uma das empresas que fabricam e comissionam a Árvore de Natal.

Após estas etapas cumpridas efetuar o comissionamento do equipamento, então a Árvore de Natal está pronta para ser instalada no leito submarino.

5.2 - SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES

Os limites seguros para a realização de cada operação devem ser determinados para cada locação, para as condições de tempo esperadas e para o tipo de trabalho a ser realizado. Estes limites devem considerar qualquer tipo de falha definido pelo FMEA ¹⁶ (*Failure Modes and Effects Analysis*), do equipamento de DP e o tempo estimado para restabelecer o controle da posição, recolher os mergulhadores (mergulhadores só são utilizados em famílias de Árvores apropriadas para operações de mergulho até 300 metros), desconectar uma rampa, um *riser* ou ainda afastar-se de uma área para uma posição mais segura. No caso de operações simultâneas ou próximas a outras embarcações, as possíveis falhas destas também devem ser consideradas. (IMCA, 2007, p. 10).

Uma posição mais segura significa aquela onde o trabalho tenha ou possa ser encerrado imediatamente sem sérias conseqüências em decorrência da perda de posição e que o navio fique em uma condição na qual as operações possam ser prontamente reiniciadas assim que o distúrbio tenha sido corrigido (IMCA, 2007, p.10).

5.2.1 Definição de “capabilidade” do sistema DP

Um ponto interessante a ser considerado com relação ao estabelecimento dos limites de segurança para as operações de embarcações de posicionamento dinâmico é a definição da “capabilidade” do sistema. Segundo a seção 1.4 da publicação IMCA M103 – *Guidelines for the design and operation of dynamically positioned vessels*, a máxima “capabilidade” para manutenção contínua da posição operacional deve ser calculada para os seguintes casos:

- a) todos os *thrusters* operacionais com máxima descarga efetiva;
- b) todos os *thrusters*, exceto o mais efetivo, operacionais e com máxima descarga efetiva;

¹⁶ FMEA: é um procedimento em desenvolvimento de um produto e gestão de operações para a análise de modos de falha em potencial dentro de um sistema para classificação da gravidade e da probabilidade de falhas.

c) o maior número de *thrusters* e/ou unidades de força que possam estar operacionais após um *worst case single failure*, dependendo dos *failure modes* das classes de DP, e;

d) a solicitação equivalente de todos os *thrusters* no modo de falha que não deve exceder o barramento elétrico disponível.

As situações acima podem ser apresentadas na forma de uma plotagem polar (*capability plot*) para várias velocidades de corrente, coincidentes com os ventos e as ondas associadas de um mar agitado. O termo *capability plot* (**figura 29**) define:

Uma plotagem polar teórica da “capabilidade” da embarcação para determinadas condições específicas de ventos, ondas e correntes de diferentes direções. Essas condições podem ser determinadas para diferentes combinações de *thruster* e devem ser reproduzidas em conformidade com a publicação IMCA M140 – *Specification for DP capability plots* (IMCA, 2007, p. 7).

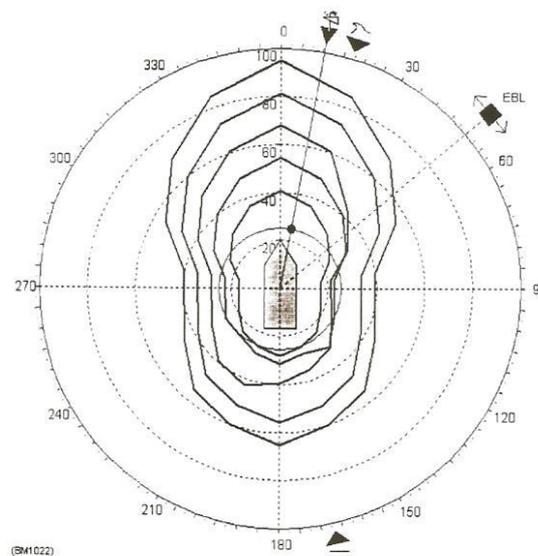


Figura 29 – Capability plot

O propósito da alínea (a) é possibilitar o cálculo da “capabilidade” prevista e definir os limites práticos de operação.

O propósito da alínea (b), como uma simples plotagem composta é informar aos operadores sobre os limites que não podem ser excedidos se for necessário manter a posição, caso o *thruster* mais efetivo pare subitamente.

O propósito da alínea (c) é prover aos operadores um guia com os limites de segurança que devem ser impostos para as tarefas mais difíceis ou mais complexas, onde as consequências causadas por uma perda de posição são particularmente severas, como por

exemplo, perda de vidas ou ferimentos em várias pessoas. Estar dentro deste limite significa que haverá uma „situação segura“ após ocorrer o *worst case failure*.

O propósito da alínea (d) é oferecer aos operadores, informações de forma que eles possam observar, a partir do barramento elétrico disponível e o uso percentual dos *thrusters*, quando os limites de segurança da operação forem excedidos. Esta informação é conhecida como *consequence analysis* porque a conseqüência de uma falha, quando este aviso está ativo no DP, é uma perda de posição.

5.2.2 Definição dos limites ambientais

Segundo as recomendações estabelecidas na Seção 1.7 – *Weather precautions* da publicação IMCA M103 – *Guidelines for the design and operation of dynamically positioned vessels*, o operador de DP deve dedicar atenção especial a qualquer indicação de mudança significativa das condições de tempo, em particular mudanças repentinas na força e na direção do vento, da corrente ou outro fenômeno local, como por exemplo, os *solitons*¹², a fim de assegurar que possam ser tomadas ações a tempo de reduzir a possibilidade de perda de posição ou de se exceder as condições seguras estabelecidas para a operação. Por definição, os *solitons*¹⁷ são:

Ondas solitárias não lineares que ocorrem nos oceanos e se propagam abaixo da superfície ao longo do limite entre camadas de água de alta e de baixa densidade. São reportadas em locais do oceano com grande intensidade de corrente, em intervalos irregulares por curtos períodos de tempo, causando súbito avanço do navio em DP, com conseqüente perda de posição e aproamento (KONGSBERG MARITIME AS, 2003, p. 13-14).

Devem ser tomadas todas as medidas disponíveis para que sejam obtidos os boletins de mudança das condições de tempo e para que as ações sejam tomadas em tempo hábil e que sejam eficazes. Tais medidas devem incluir:

¹⁷ O estudo dos *solitons* foi apresentado pelo comandante Sanjai Jatar, PSV *CSO VENTURER* no seminário IMCA de “*Station Keeping*”, em Londres, em novembro de 1995 (KONGSBERG MARITIME AS, 2003, p. 13).

- a) obtenção regular e freqüente dos boletins de tempo para a área de operação e o uso do fac-símile e das cartas sinóticas;
- b) busca por informação de outras unidades sobre as condições de tempo nas áreas próximas onde estas operam;
- c) uso do conhecimento e da experiência para observação das condições predominantes e a tendência do tempo;
- d) uso da informação meteorológica medida pelo sistema de DP e de qualquer tendência de mudança que o sistema possa fornecer;
- e) uso dos instrumentos meteorológicos de bordo, incluindo barômetro, barógrafo, anemômetros (fixos e portáteis), e;
- f) outras fontes de informações sobre o tempo, como o radar, por exemplo.

Esta publicação ainda recomenda que se a embarcação estiver operando a barlavento ou no bordo desfavorável da corrente, em relação a uma plataforma ou outra construção *offshore*, deve-se considerar a potência adicional que possa ser exigida para se obter uma situação segura de operação.

5.2.3 Limites operacionais próximo a plataformas

Na Seção 3 da publicação IMCA 182 – *International guidelines for the safe operation of dynamically positioned offshore supply vessels*, ficam estabelecidos os critérios de avaliação dos riscos da operação em DP, próximo às plataformas ou unidades *offshore*.

Essa seção fornece um guia de como minimizar o risco da ocorrência de perda de posição, considerando duas componentes essenciais: a matriz de posicionamento da embarcação e os procedimentos operacionais do DP.

A matriz de posicionamento da embarcação deve ser usada como a medida de alto nível que compara a “capabilidade” da embarcação contra o grau de proximidade desta com a plataforma ou unidade *offshore*. Os parâmetros podem ser usados pelos armadores e pelos clientes na escolha do tipo de embarcação mais apropriada às circunstâncias.

Embarcações com maior “capabilidade” estão menos suscetíveis a perda de posição. A “capabilidade” é composta por uma combinação de fatores, incluindo a classificação e a

habilitação da tripulação. A publicação IMCA 182 classifica as embarcações DP em três níveis de “capabilidade”, como *DP OSV Capability I* a III, com os requisitos de cada categoria listados na **tabela 4**, na página seguinte abaixo, extraída e traduzida da própria publicação:

<p style="text-align: center;"><i>DP OSV Capability I</i></p>	<p>Equipamento DP IMO classe I. Embarcação operando dentro dos limites de “capabilidade” dos <i>thrusters</i> nas condições ambientais predominantes. Estação de controle do DP operada por, pelo menos, um oficial de quarto de navegação categoria A. Ao menos um sistema de referência de posição operando e <i>on line</i>.</p>
<p style="text-align: center;"><i>DP OSV Capability II</i></p>	<p>Equipamento DP IMO classe II ou III. Embarcação operando nos limites de <i>worst case failure</i>, nas condições ambientais predominantes. Estação de controle do DP operada por, pelo menos um oficial de quarto de navegação categoria A e outro, categoria B. Dois sistemas de referência de posição operando e <i>on line</i>. Um terceiro sistema de referência deve estar disponível para uso imediato.</p>
<p style="text-align: center;"><i>DP OSV Capability III</i></p>	<p>Equipamento DP IMO classe II ou III. Embarcação operando nos limites de <i>worst case failure</i>, nas condições ambientais predominantes. Estação de controle do DP operada por dois oficiais de quarto de navegação categoria A. Ao menos três sistemas de referência de posição independentes operando e <i>on line</i>.</p>

Tabela 5 – DP capability

5.2.4 Limites operacionais do ROV

Na Seção 6 da publicação IMCA R004 – *Code of practice for the safe & efficient operation of remotely operated vehicles*, ficam estabelecidos os critérios seguros para o lançamento e para a operação do ROV, conforme as condições de tempo, profundidade, características do solo marinho e a experiência do piloto do ROV.

As combinações das condições de operação podem ser as mais variadas e cabe ao supervisor do ROV a decisão de prosseguir com a operação. Nos contratos de afretamento da embarcação firmados entre o cliente e o operador do ROV são definidos os limites ambientais seguros. Também cabe ao supervisor do ROV assegurar o claro entendimento destes limites a todos os envolvidos na operação e, em qualquer questionamento, deve prevalecer o que estiver estabelecido no contrato.

Embora os ROV's não sejam diretamente afetados pelas condições de tempo, quando estão mergulhados, o custo e a eficiência da operação podem ser alterados por diversos fatores:

- a) a direção e a velocidade do vento podem tornar difícil a manutenção da posição da embarcação, afetando adversamente o lançamento do ROV na água;
- b) a chuva e o nevoeiro podem reduzir a visibilidade e oferecer perigo à embarcação;
- c) a combinação adversa do vento, da chuva e da neve pode tornar perigoso o trabalho dos operadores do ROV no convés, e;
- d) o calor e a umidade podem causar superaquecimento dos componentes eletrônicos do ROV e possibilitar o ingresso e o acúmulo de salitre durante as manutenções.

O estado do mar pode afetar todos os estágios da operação do ROV. A segurança deve ser cuidadosamente considerada durante o lançamento do ROV na água em condições de mar severo, a fim de minimizar os riscos da exposição dos tripulantes ao mau tempo e a fim de evitar esforços excessivos no cabo armado devido à arfagem do navio em relação ao ROV.

Alguns sistemas de lançamento dispõem de um equipamento denominado *heave compensator* que é capaz de minimizar os efeitos da arfagem sobre o cabo armado e permitir a execução da operação em situações de mar mais severo, mantendo as condições mínimas de segurança exigidas.

A corrente marítima também pode afetar negativamente as operações com o ROV, porém raramente existem dados quantitativos e qualitativos suficientes a fim de se estabelecer um perfil da corrente.

As análises e simulações podem fornecer boas previsões sobre a corrente, mas esta não se mantém todo o tempo. As correntes marítimas variam de uma região para outra e as correntes de superfície podem ser rapidamente alteradas pelo vento. Também podem ocorrer diferentes correntes em várias camadas de profundidade.

Os fatores que afetam as operações do ROV e a manobrabilidade dele sob os efeitos das correntes marítimas são:

- a) comprimento e diâmetro do umbilical;
- b) potência de propulsão do veículo;
- c) profundidade e orientação da corrente;
- d) perfil da corrente variado (não-uniforme);
- e) formação de “cocas” no umbilical a grandes profundidades, e;
- f) hidrodinâmica do veículo.

Cada ROV é projetado para operar em uma profundidade máxima. Quando o veículo é operado em grandes profundidades, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- a) o comprimento do umbilical e o arrasto associado, influenciando o manuseio do equipamento, e;
- b) o tempo de descida do veículo (o ROV leva cerca de 50 minutos para descer a uma profundidade de 1.500 metros a uma velocidade de 1 nó).

As variações na temperatura, na salinidade, na profundidade e no ruído acústico podem afetar o rastreamento acústico e os sistemas de posicionamento. As características físicas e químicas da água também podem exercer efeito significativo na operação do veículo, devendo-se ter atenção especial aos seguintes fatores:

- a) visibilidade - a má visibilidade pode afetar adversamente a operação e exigir o uso de equipamentos de imagem sofisticados. A operação do veículo próximo ao solo marinho pode provocar a formação da suspensão dos sedimentos que reduz a visibilidade em correntes fracas ou nulas;

b) temperatura - temperaturas extremas, muito baixas ou muito frias, podem afetar a confiabilidade dos equipamentos eletrônicos e ocasionar fratura do material que pode resultar em danos estruturais ou mecânicos;

c) salinidade - pode variar substancialmente próximo da foz de rios e estuários. A variação resultante na densidade da água pode afetar a flutuabilidade e o trim do ROV, e;

d) Poluentes - a presença de poluentes ou produtos de petróleo pode ofuscar as lentes ou danificar os materiais plásticos. A presença de gás pode afetar a visibilidade, bloquear a transmissão acústica e causar súbita perda de flutuabilidade. Na presença de poluentes, devem ser tomadas precauções para proteger as regiões dos propulsores do veículo e as pessoas envolvidas no lançamento, no recolhimento e na manutenção do veículo;

Durante o planejamento das operações com o ROV deve-se realizar uma verificação das condições do solo marinho e sua topografia. Rochas e equipamentos submarinos, como *manifolds* ou dutos, podem provocar colisões ou danos ao *tether* do veículo, ou afetar as operações bloqueando a transmissão de imagens e interferindo no sonar.

Fundos macios de areia ou lama podem tornar a operação muito difícil devido à formação da suspensão de partículas após a descarga do *thruster* ou pouso abrupto do ROV no solo marinho.

5.3 - PROCESSO PARA LANÇAMENTO DA ÁRVORE DE NATAL

Ao chegar no local de lançamento, a embarcação deve ser colocada em DP com a análise de consequência ligado (Classe 2) e fazer a checagem de 30 minutos (Requeridos no caso pela empresa Norskan Offshore) de todos os thrusters e sensores de bordo. Após esta etapa é feito uma checagem no convés e nos ROVs para início da operação.

5.3.1 CONVÉS

No convés, a FMC deve verificar se todos os itens de checagem de pré-lançamento de sua companhia foi checado, está completo e com a documentação assinada para ser entregue

ao cliente. Os engenheiros da FMC deve remover o o-ring no interior da capa de proteção para ajudar na remoção da mesma e confirmar se a agulha giroscópica está calibrada para ser instalada na Árvore de Natal.

5.3.2 ROVs

Os pilotos e supervisores de ROV devem checar se foram instaladas as ferramentas *dual-port hot-stab* em ambos os veículos, testar e calibrar o injetor de fluido, mantendo a pressão por 15 minutos.

O ROV1 deverá carregar a ferramenta manipuladora FMC T-Bar e uma ferramenta de Torque Classe 4¹⁸.

O ROV2 deverá orientar a instalação da Árvore no poço.

5.3.3 LANÇAMENTO DA ÁRVORE DE NATAL

Seguindo o procedimento de segurança, a embarcação deve ser posicionada a 100 metros distantes de qualquer estrutura submarina, em caso de qualquer incidente ou acidente. Lança-se o ROV2 para ficar posicionado a 100 metros abaixo da linha d'água.

O passadiço informa a sala de controle para deixar um oficial encarregado do sistema anti-heeling e os DPOs aproam o navio a melhor condição, evitando excessivo balanço e caturro. Neste momento o pessoal de convés retira toda a peça realizada a bordo, com a Árvore de Natal já conectada ao guindaste.

O guindaste iça a Árvore de Natal do convés, gira para fora da embarcação e a arria na água. Neste momento o guindasteiro zera todos os seus indicadores e arria até 100 metros de profundidade. Neste momento o ROV2 vai ao encontro da Árvore.

Agora com a monitoração do ROV2, arria-se a Árvore até ficar a uma distância de 50 metros do leito submarino, em seguida o guindasteiro liga o compensador de *heave*.

Quando a Árvore chega na profundidade mencionada acima, a embarcação começa a se mover em DP para a posição do poço com uma velocidade não superior a 0,3 nós. Todo este movimento é monitorado pelo ROV2.

¹⁸ Ferramenta de Torque Classe 4: Ferramenta para manipular mecanismos da Árvore de Natal com torque normal de 200 ft-lbs.

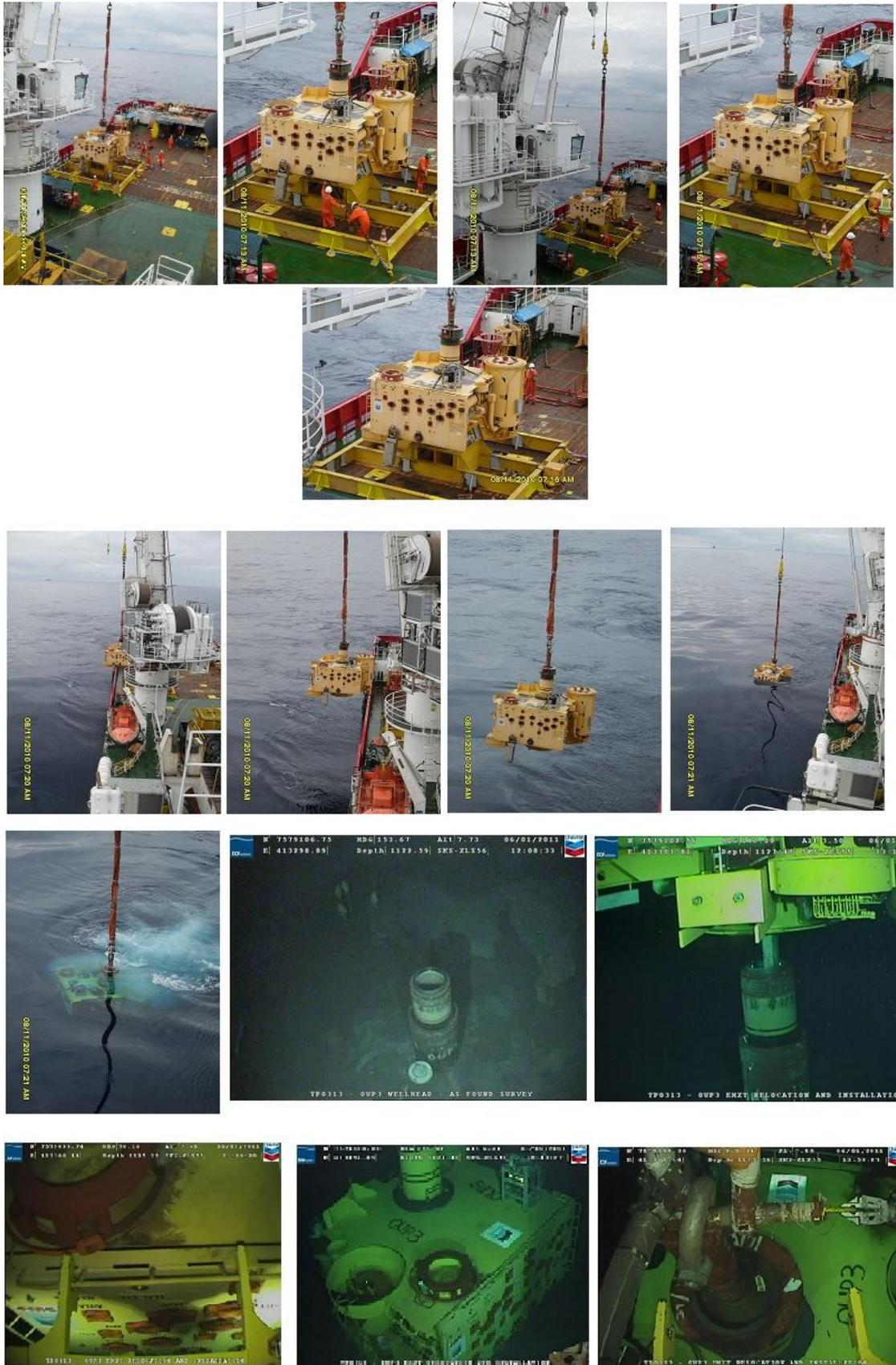


Figura 30 - Sequência do lançamento e instalação da Árvore de Natal.

Ao alcançar o poço, o ROV1 monitora o guia para arriar a Árvore por cima da cabeça do poço. A alça da Árvore deve ser inferior a 0,3 m (um pé) para instalar a Árvore no poço. Aguardar a estabilização do movimento da Árvore antes de dar continuidade à operação.

Quando o guia estiver na cabeça do poço, o ROV2 deve docar na Árvore com o seu braço de 5 movimentos para orientação correta de aproamento no poço. Para isso o ROV1 deverá verificar a agulha giroscópica instalada na Árvore. Agora com o acompanhamento do ROV1, o guindasteiro arria a Árvore com a menor velocidade possível e com o compensador de *heave* funcionando.

Após a conclusão dessa operação o ROV1 utiliza a ferramenta de torque classe 4 para travar a Árvore no poço e com isso a Árvore de Natal estará instalada no poço e pronta para as checagens finais e posteriormente a conexão com os dutos flexíveis que podem estar pré-lançados e estão no *Parking Stand*¹⁹ para serem conectados na Árvore e o poço começar a produzir.

5.4 - HOOK-UP DE LINHAS PARA ÁRVORE DE NATAL

Os pilotos e supervisores de ROV, junto com os engenheiros da FMC realizam os seguintes passos abaixo:

Verifica a área em busca de detritos ou danos na ferramenta de substituição da junta de vedação. ROV remove a tampa de proteção do gás lift.

ROV instala a junta de 2" no conector de gas lift. Com isso inicia-se o torque para desbloquear o conector de gas lift no Parking Stand com 350ft/lbs sucedido com 5, voltas anti-horário.

Navio / guindaste move o conector de gas lift para o Painel XT da Árvore e o ROV inicia a conexão e com isso inicia o procedimento para teste de vedação. Após isso é feito teste com as válvulas da Árvore pelo ROV.

ROV faz teste de vedação na Árvore e o comissionador ficando satisfeito com o teste, a operação está finalizada.

¹⁹ Local onde é deixado os dutos de linhas flexíveis antes da instalação da Árvore de Natal.

5.5 - LEVANTAMENTO CADASTRAL SUBMARINO

O arranjo submarino vive em constante mudança. Novos projetos são implementados a cada dia e o conhecimento preciso deste leiaute submarino é fundamental para a elaboração de novos projetos, de modo a evitar interferências indesejáveis, garantindo assim a integridade futura dos dutos e demais equipamentos. Através de embarcação apoiada por ROV, com DGPS e sistema de posicionamento hidroacústico, os dados do fundo do mar são sistematicamente levantados com rigor de detalhes (linhas de produção, umbilicais hidráulicos, válvulas, âncoras, amarras, conexões, etc.), e sempre que ocorre uma alteração no arranjo submarino, isto é, qualquer operação que é realizada por uma das embarcações especiais, ao término do projeto são passados os dados para o cliente e para as autoridades competentes, como o IBAMA, que monitora o impacto ambiental na área.

CONCLUSÃO

A leitura e a análise dos documentos revisados no trabalho proporcionam uma visão geral a respeito da importância do uso de uma embarcação de construção submarina no processo final da completação de um poço petrolífero, podendo-se concluir que:

- a) a evolução da tecnologia de perfuração de poços de petróleo no mar aponta para a exploração desta fonte de energia em profundidades cada vez maiores;
- b) com o aumento da profundidade de exploração, são necessários maiores recursos financeiros e humanos e maior quantidade de equipamentos e de materiais;
- c) a escolha correta dos equipamentos e dos materiais mais adequados é um aspecto muito importante para a determinação dos limites de segurança de cada operação;
- d) é fundamental planejar bem as operações, de forma a minimizar os riscos de acidentes e otimizar os recursos empregados, bem como divulgar os procedimentos executivos, ampla e claramente, a todos os envolvidos;
- e) é necessário guarnecer os navios com tripulações bem familiarizadas com as operações e bem adestradas no uso dos equipamentos, a fim de manter um bom nível de segurança nas operações, e;
- f) o sucesso na execução eficiente e segura das operações de completação do poço de Petróleo tem impacto positivo na viabilidade econômica da exploração do pré-sal, uma vez que deixar que uma sonda de perfuração faça este processo ao invés de uma embarcação torna-se muito mais oneroso e demorado a qualquer companhia.

Esse trabalho também propõe-se a ser uma base de consulta para novos estudos com a abordagem das novas tecnologias empregadas nessa embarcação e que podem ser utilizadas em outras embarcações e os critérios mínimos para formação dos tripulantes que operam esses tipos de embarcação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DESIGN OMEDIA. **Installer work class ROV**. 2010. Altura: 900 pixels. Largura: 720 pixels. 98,2 Kb. Formato: Imagem JPEG. 1 fotografia. Disponível em: <http://www.kystdesign.no/f/275_kystdesign-installer.pdf>. Acesso em: 22. out. 2010.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval, volume I**. 7. ed. Rio de Janeiro. Serviço de Documentação da Marinha. 2005.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval, volume II**. 7. ed. Rio de Janeiro. Serviço de Documentação da Marinha. 2005.

KONGSBERG MARITIME AS. **Dynamic Positioning (DP) Advanced Operator Course**. 2. rev. Kongsberg. Kongsberg Maritime AS. 2006

KONGSBERG MARITIME AS. **Dynamic Positioning (DP) Basic Operator Course**. 2. rev. Kongsberg. Kongsberg Maritime AS. 2004.

MODULAR UNDERWATER SYSTEMS LTD. **CS150 Construction Support ROV**. 2010. Altura: 320 pixels. Largura: 3026 pixels. 64,3 Kb. Formato: Imagem JPEG. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.modus-ltd.com/equipment/constructionsupport.html>>. Acesso em: 22. out. 2010.

SMD. **2.4MW Rock Trencher 1**. 2010. Altura: 500 pixels. Largura: 325 pixels. 59,1 Kb. Formato: Imagem JPEG. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.offshore-technology.com/contractors/rovs/smd/smd3.html>>. Acesso em: 22. out. 2010.

SUB-FIND. **Falcon Remote Operated Vehicle**. 2010. Altura: 280 pixels. Largura: 224 pixels. 43,0 Kb. Formato: Imagem JPEG. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.sub-find.com/falcon.htm>>. Acesso em: 22. out. 2010.

SUB-FIND. **SM 1000 Low Cost ROV System**. 2010. Altura: 300 pixels. Largura: 213 pixels. 23,2 Kb. Formato: Imagem JPEG. 1 fotografia. Disponível em: < http://www.sub-find.com/sm_1000.htm>. Acesso em: 22. out. 2010. 123

THE INTERNATIONAL MARITIME CONTRACTORS ASSOCIATION. **Code of practice for the safe and efficient operation of remotely operated vehicles**. 3. rev. Londres. International Maritime Contractors Association. 2009. Disponível em: <<http://www.imca-int.com/documents/divisions/rov/docs/IMCAR004.pdf>>. Acesso em: 17. ago. 2010.

THE INTERNATIONAL MARITIME CONTRACTORS ASSOCIATION. **Guidelines for the design and operation of dynamically positioned vessels**. 1. rev. Londres. International Maritime Contractors Association. 2007. Disponível em: <<http://www.imca-int.com/divisions/marine/publications/103.html>>. Acesso em: 17. ago. 2010.

THE INTERNATIONAL MARITIME CONTRACTORS ASSOCIATION. **International guidelines for the safe operation of dynamically positioned offshore supply vessels**. 1. rev. Londres. International Maritime Contractors Association. 2009. Disponível em: <<http://www.imca-int.com/documents/divisions/marine/docs/IMCAM182.pdf>>. Acesso em: 17. ago. 2010.

UNIVERSITY OF BREMEN. **Explorer 5000 AUV**. 2010. Altura: 1575 pixels. Largura: 1026 pixels. 1,14 Mb. Formato: Imagem JPEG. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.marum.de/en/AUV.html>>. Acesso em: 22. out. 2010.

VICKERY, Keith. **Acoustic Positioning Systems - “A practical overview of existing systems”**. In: Dynamic Positioning Conference, 1998, Houston. **Sensors...Houston**: Sonardyne, Inc. 1998. p. 2 – 10. Disponível em: <<http://www.dynamic-positioning.com/dp1998/SVickery.pdf>>. Acesso em: 25. ago. 2010.

GLOSSÁRIO

Array Posicionamento de, no mínimo, três *transponders* no solo marinho para triangulação e determinação da posição através do sinal acústico transmitido por um transdutor do navio ou plataforma.

Árvore de Natal conjunto de válvulas instalado em poços de exploração de petróleo e gás natural que regula a produção destes hidrocarbonetos.

Blackout Perda do barramento elétrico principal dos *thrusters* ou do sistema de controle do DP.

Bundle Conjunto das linhas flexíveis de um poço submarino: linha de produção, linha do anular e cabo umbilical hidráulico (UH) ou eletro-hidráulico (UEH).

Capability Termo em inglês, com tradução livre “capabilidade”, que designa os limites de degradação da posição de uma embarcação por excesso de solicitação dos propulsores em função de forças ambientais.

Free-swimming Modo de navegação do ROV em que não há acoplamento deste na TMS.

Heave Movimento vertical de arfagem da embarcação, causado pela passagem das ondas sob o casco.

Heave compensator Equipamento hidráulico que reduz o efeito do movimento vertical de arfagem da embarcação ou da plataforma sobre os componentes de um sistema submerso, como por exemplo, uma coluna de perfuração, o cabo armado de um ROV, etc.

Joystick Manopla de manobras computadorizada que simplifica as ordens para somente um comando.

Manifold Conjunto de válvulas submersas capazes de direcionar a produção do petróleo de vários poços.

Offshore Designa toda a atividade de prospecção e exploração de petróleo no mar

Overboarding Operação de lançamento de um equipamento do convés de trabalho do navio para o mar com o auxílio de sistemas de içamento de peso.

Riser Coluna que se estende do solo marinho até uma unidade de produção, transferindo fluidos.

Solitons Ondas solitárias não lineares que ocorrem nos oceanos e que se propagam abaixo da superfície ao longo do limite entre camadas de água de alta e de baixa densidade. São reportadas em locais do oceano com grande intensidade de corrente, em intervalos irregulares

por curtos períodos de tempo, causando súbito avanço do navio em DP, com conseqüente perda de posição e de aproamento.

Surveyor Profissional que trabalha em embarcações ou plataformas equipadas com ROV na supervisão dos serviços realizados pelo veículo.

Tanque Anti-Heeling sistema de um navio que detecta automaticamente o ângulo de adernamento do navio e compensa o mesmo.

Taut wire Sistema de referência para o posicionamento dinâmico de uma embarcação. Consiste em um guincho A-frame, de onde sai um cabo de aço com um peso na extremidade, lançado até o fundo do mar. A posição da embarcação relativa ao peso é obtida pela medição do ângulo do cabo e da profundidade do local.

Transponder Baliza (beacon), repetidora de frequência transmitida pelo (s) transdutor (es) do sistema acústico de referência de uma embarcação ou plataforma.

Trim Diferença entre os calados de vante e de ré de um navio.

Thruster Propulsor. Arranjo de propulsão, podendo ser em tubulão, azimutal, etc. O conjunto hélice / leme também é considerado um *thruster*.

Umbilical Fios e mangueiras de união entre o sino de mergulho (ou outro equipamento) e sua unidade de lançamento.