

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Proposta de Sistema para Eletrificação de Válvulas
de Atuação Hidráulica em Equipamentos Submarino**

Leonardo Gonçalves Candido Gomes

Prof. Orientador: Jonatas Motta Quirino

**Rio de Janeiro
Janeiro de 2023**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

Proposta de Sistema para Eletrificação de Válvulas de Atuação Hidráulica em Equipamentos Submarino

Leonardo Gonçalves Candido Gomes

Projeto final apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação Superior
do CEFET/RJ como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica

Prof. Orientador: Jonatas Motta Quirino

**Rio de Janeiro
Janeiro de 2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

G633 Gomes, Leonardo Gonçalves Candido
Proposta de sistema para eletrificação de válvulas de atuação
hidráulica em equipamentos submarino / Leonardo Gonçalves
Candido Gomes. — 2023.
x,77f. : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.

Bibliografia : f. 75-77

Orientadora: Jonatas Motta Quirino

1. Engenharia mecânica. 2. Submarinos - Dispositivos protetores.
3. Válvulas. 4. Eletrificação. 5. Petróleo e gás. I. Quirino, Jonatas
Motta. (Orient.). II. Título.

CDD 621

RESUMO

Com o constante desenvolvimento da sociedade a demanda por energia sempre apresentou um contínuo crescimento, alinhado à essa necessidade e com foco nos aspectos ambientais novas fontes alternativas de energia veem sendo exploradas. Porém, as de origem fóssil como o petróleo, ainda apresentam grande relevância no mercado mundial dada impossibilidade de substituir essa fonte em um curto período de tempo. Dessa forma, explorar as reservas de petróleo de forma mais eficiente e com menor impacto ambiental é um objetivo da indústria.

Visando atender essa necessidade, o presente trabalho tem por finalidade propor um sistema (conceito de solução) para eletrificação de válvulas de atuação remota a partir de pressão hidráulica, contidas em equipamentos submarinos de exploração e produção de óleo e gás, o que está alinhado com a premissa de eletrificação pela qual o segmento se encontra, tornando as operações mais eficientes e seguras em aspectos ambientais e econômicos.

Destaca-se que o presente trabalho possui aplicação primária na indústria de exploração e produção de óleo e gás em campos marítimos, conforme se caracteriza de forma mais expressiva o mercado de óleo e gás nacional, mas não sendo este um limitante.

Palavras-chave: Equipamento Submarino, Válvula, Válvula Hidráulica, Eletrificação, *Subsea*, Óleo e Gás.

ABSTRACT

According to the constant development of society, the demand for energy has always shown continuous growth, aligned with need and with a focus on environmental aspects, new alternative energy sources are being explored. However, as of fossil origin like oil, they still have great relevance in the world market given the impossibility of replacing this source in a short period of time. In this way, exploiting oil reserves more efficiently and with less environmental impact is an industry objective.

In order to meet this need, the purpose of this work is to propose a system (solution concept) for the electrification of actuation valves based on hydraulic pressure, contained in subsea oil and gas exploration and production equipment, which is remote from the premise of electrification that the segment is in, making operations more efficient and safety in environmental and health aspects.

It is highlight that the present work has a primary application in the oil and gas exploration and production industry in offshore fields, as the national oil and gas market is more expressively characterized, but this is not a limiting factor.

Keywords: Subsea equipment, Valve, Hydraulic Valve, Electrification, Subsea, Oil and Gas.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Metodologia.....	3
1.4	Revisão Bibliográfica.....	3
1.5	Organização do Trabalho.....	5
2	Exploração de Petróleo.....	6
2.1	Origem do Petróleo.....	6
2.2	Primeiros Contatos.....	6
2.3	No Brasil.....	7
2.4	Pré-Sal Brasileiro.....	8
3	Sistemas de Exploração e Produção.....	11
3.1	Poço de Petróleo.....	11
3.1.1	Perfuração.....	12
3.1.2	Coluna de Completação.....	14
3.2	Arvore de Natal Molhada.....	17
3.2.1	Classificação das ANMs.....	17
3.2.2	Base Adaptadora de Produção.....	18
3.2.3	Conjunto de Válvulas.....	21
3.2.4	Módulo de Conexão Vertical.....	22
3.3	Sistema Submarino	23
3.3.1	Manifolds	24
3.3.2	PLET e PLEM.....	26
3.3.3	SSIV's.....	27
3.3.4	Dutos Flexíveis.....	29
3.3.5	Umbilicais.....	30
3.3.6	ROVs.....	32
3.4	Unidade de Superfície.....	33
3.4.1	HPU.....	36
4	Sistema de Controle.....	38
4.1	Premissas	38
4.2	Principais Tipos de Válvulas.....	39
4.3	Sistema de Atuação das Válvulas.....	41
4.4	Mecanismo de Atuação das Válvulas.....	47

5	Proposta do Sistema.....	51
5.1	Parâmetros Operacionais.....	53
5.2	Conceito de Funcionamento	54
5.3	Módulos do Sistema.....	60
5.3.1	Atuador Eletro-Hidráulico	61
5.3.2	Válvula Solenoide.....	64
5.3.3	Acumulador Hidráulico.....	66
5.3.4	Eletrônica de Potência e Controle	67
5.3.5	Skid.....	69
5.3.6	Comunicação Hidráulica Submarina.....	71
6	Conclusão	72
6.1	Sugestão de Próximos Estudos.....	74
7	Referências Bibliográficas.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemático da origem do petróleo (USP, 2020)	6
Figura 2 – Avanço da exploração ao longo do tempo. Modificado de (USP)	8
Figura 3 – Mapa de Localização do Pré-Sal Brasileiro (FSMA, 2019)	9
Figura 4 – Representação do Pré-Sal Brasileiro (FSMA, 2019)	10
Figura 5 – Sonda de Perfuração em águas no estado do Rio de Janeiro (Seadril)	12
Figura 6 – Fluxo de fluido durante a perfuração (Silva - 2013)	13
Figura 7 – Configuração tradicional de um poço de petróleo (Rocha e Azevedo - 2009)	14
Figura 8 - Configuração tradicional de uma completação. Modificado (Petrobras)	16
Figura 9 – ANM Vertical. Modificada (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	18
Figura 10 - ANM Horizontal. Modificada (J. O. E. Technology, 2007)	18
Figura 11 – BAP (FSMA)	19
Figura 12 - Sistema de Escoamento da BAP (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	20
Figura 13 – Esquemático Válvulas ANM. Modificada (Petrobras 2002)	21
Figura 14 – MCV (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	22
Figura 15 - Sistema Submarino (Petrobras)	24
Figura 16 - Representação do Manifold	25
Figura 17 - Manifold Submarino em Lançamento (Aker Solution)	26
Figura 18 - PLET e PLEM Interligados. Modificada (Oilstates)	27
Figura 19 - Esquemático SSIV's (Sirous Yasseri)	28
Figura 20 - Estrutura Duto Flexível (Débora Molter, 2021)	29
Figura 21 - Duto Flexível Armazenado em Bobinas (NOV, 2012)	30
Figura 22 - Arranjo Submarino. Modificado (Petrobras)	30
Figura 23 - Umbilical Eletro-hidráulico (MFX)	31
Figura 24 – ROV (Oceaneering)	32
Figura 25 - Unidades de Superfície. Modificada (Petrobras 2010)	33
Figura 26 - Plataforma Fixa (PUC-Rio)	34
Figura 27 - Plataforma Semi Submersível (Transocean)	35
Figura 28 – FPSO (Modec)	35
Figura 29 – HPU (Oceaneering)	37
Figura 30 - Válvula Gaveta (P&P – 2016)	40
Figura 31 - Válvula Esfera (P&P – 2016)	40

Figura 32 - Diagrama de Atuação da SSIIV (Grechi P. H. e Alves A. L. R. – 2016)	42
Figura 33 – Esquemático Sistema Multiplex. (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	42
Figura 34 - Representação SCM (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	43
Figura 35 - Diagrama Sistema Multiplexado (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	44
Figura 36 - PLET com Destaque no Painel ROV. Modificada (Webnordeste)	45
Figura 37 - <i>Stab</i> Hidráulico de Duas Vias (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	46
Figura 38 – Torquetool (Oceaneering)	47
Figura 39 - Atuação Fail Safe Close (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	48
Figura 40 - Sistema de Atuação Simplificado (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	49
Figura 41 - Esquemático do Sistema de Atuação Tradicional (Autor)	51
Figura 42 - Esquemático da Proposta de Funcionamento (Autor)	52
Figura 43 - Diagrama de Blocos do Sistema de Eletrificação (Autor)	55
Figura 44 - Diagrama de Blocos Referente a Operação de Abertura (Autor)	56
Figura 45 - Diagrama de Blocos Referente a Manutenção da Posição (Autor)	57
Figura 46 - Diagrama de Blocos Referente a Operação de Fechamento (Autor)	58
Figura 47 - Diagrama de Blocos Referente a Operação de Retorno do Atuador (Autor)	59
Figura 48 - Diagrama de Blocos Referente ao Sistema Proposto (Autor)	60
Figura 49 - Motor Elétrico com Redução e <i>Encoder</i> . Modificado (Maxon)	62
Figura 50 - Fuso de Deslocamento Linear (Mectrol)	63
Figura 51 - Esquemático Atuador Eletro-Hidráulico em Posição Inicial (Autor)	63
Figura 52 - Esquemático Atuador Eletro-Hidráulico em Posição Final (Autor)	63
Figura 53 - Válvula Solenoide (MTi)	64
Figura 54 - Configuração Física Válvulas Solenoide	65
Figura 55 - Conector para <i>Tubing</i> (Swagelok)	65
Figura 56 - Acumulador Hidráulico (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)	67
Figura 57 - Vaso de Pressão Compensado (Autor)	68
Figura 58 - Vaso de Pressão Compensado em Posição de Montagem (Autor)	69
Figura 59 - Exemplo de Estrutura para Acondicionamento de Equipamentos Submarinos	70
Figura 60 - Cabo Hidráulico Submarino (Optimesubsea)	71
Figura 61 – Sistema de Atuação Tradicional (Autor)	72
Figura 62 - Sistema de Atuação Proposto (Autor)	73

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Equipamentos de Completação de Poços	15
Quadro 2 - Interfaces da BAP	19
Quadro 3 - Componentes do MCV	23
Quadro 4 - Referências da Figura 19	28
Quadro 5 – Referências da Figura 34	43
Tabela 1 - Parâmetros Operacionais	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAP – Base Adaptadora de Produção

ANM – Árvore de Natal Molhada

MCV – Módulo de Conexão Vertical

SMC – *Subsea Control Module* (Módulo de Controle Submarino)

CVD – Conexão Vertical Direta

ROV – Remotely Operated Vehicle (Veículo Operado Remotamente)

PLET – *Pipe Line Termination* (Equipamento de Terminação de Linha)

PLEM – *Pipe Line Manifold* (Equipamento de Derivação de Linha)

SSIV – *Subsurface Safety Isolation Valve* (Válvula Submarina de Isolamento de segurança)

UEP – Unidade Estacionária de Produção

HPU – *Hydraulic Power Unit* (Unidade de Potência Hidráulica)

Off-shore – Termo em inglês referente à ambiente marinho

On-shore – Termo em inglês referente à ambiente terrestre

Stab – Perfil específico de conector hidráulico submarino

Cableless – Termo em inglês Referente a transmissão de potência sem fio

CIM – *Chemical Injection Mandrel* (Mandril de Injeção Química)

GLM – *Gas Lift Mandrel* (Mandril de Injeção de Gás)

Capítulo 1

1 Introdução

Desde os primórdios da humanidade a necessidade por energia sempre se apresentou em constante crescimento. Fontes de energia eram exploradas de acordo com o ambiente, demanda, técnica e meios disponíveis em suas respectivas gerações. Um exemplo disso foi a utilização de madeira oriunda de florestas nativas como combustível para o fogo, e com o passar do tempo, a partir de novas técnicas, fontes como carvão mineral, óleo animal e até moinhos de vento foram sendo exploradas.

Uma das mais tradicionais e importantes fontes de energia para o mundo de hoje, o petróleo, teve o início de sua exploração de forma relevante a partir do século XVIII (1859), nos Estados Unidos, com a exploração de “lagos” de óleos e poços rasos (<50m). Desde então, sua aplicação apresentou grandes desdobramentos socioeconômicos, assumindo a posição de principal fonte de energia a partir das décadas seguintes, dada as suas características de custos, volumes, disponibilidade, capilaridade e densidade calórica.

O mercado de óleo e gás se desenvolveu ao longo do tempo com base no constante aumento da demanda mundial por energia, novas reservas de óleo foram sendo descobertas e exploradas sob condições cada vez mais complexas e desafiadoras. Um exemplo dessa afirmação é a exploração de petróleo no Brasil, que começou de forma relevante para o país na década de cinquenta (1953) com a criação da Petrobras e seu monopólio ainda enquanto a exploração era realizada exclusivamente em campos terrestres. Posteriormente migrou para campos marítimos como o da Bacia de Campos, atingindo relevância mundial durante o final da década de noventa e início dos anos dois mil (2000), e que contribuiu muito para o atual cenário de exploração do Campo do Pré-Sal, da Bacia de Santos em suma maioria, que hoje torna o país um dos maiores produtores de petróleo do mundo.

De forma a embasar esse desenvolvimento observado na indústria do petróleo, máquinas, métodos e equipamentos também se desenvolveram para suprir necessidades e atender requisitos desse mercado. Seja devido às mudanças do ambiente de operação, que foi da terra para o mar em lâminas d'água de 3.000m, ou em níveis de produção, que saltou de algumas centenas de barris por dia para os atuais 3 milhões (no Brasil).

1.1 Motivação

Diversas áreas do conhecimento atuam nos diferentes momentos do processo de exploração do petróleo. Neste trabalho de engenharia mecânica, o foco será no momento de produção, mais precisamente nos equipamentos submarinos de segurança e controle de produção e injeção nos poços de petróleos.

Para realizar o controle das linhas de produção de um poço localizado em um campo *offshore* (marítimo) são utilizados equipamentos submarinos como árvore de natal molhada (ANMs), Manifolds, PLET, PLEM e SSIV's. Esses equipamentos submarinos consistem, de forma básica, em um conjunto de válvulas localizadas no leito marinho responsáveis por fazer o controle de produção e/ou injeção de fluidos no poço. Elas operam por meio de pressão hidráulica para abertura e fechamento das válvulas, sendo essa pressão oriunda das plataformas e transportada até o equipamento através de umbilicais eletro-hidráulicos. A geração dessa pressão requer espaço na plataforma (UEP) para o posicionar equipamentos como HPUs - *Hydraulic Power Units* (unidades de potência hidráulica) que opera de forma a pressurizar o fluido de operação e o direciona através de sistemas de distribuição, por longas distâncias (da ordem de quilômetros) de cabos umbilicais com vias hidráulicas até o respectivo equipamento. Tanto o espaço na plataforma quanto os quilômetros de cabos umbilicais com vias hidráulicas possuem alto custo, e elevam os riscos associados às operações de controle de um poço.

O sistema para eletrificação de válvulas de atuação hidráulica em equipamentos submarino, conforme proposto no presente trabalho, tem como objetivo principal reduzir a necessidade de cabos umbilicais com vias hidráulicas e todo o conjunto/infraestrutura de pressurização encontrado nas plataformas. Essa iniciativa torna a operação destes mais eficiente, de menor risco e mais barata, além de estar alinhado com as iniciativas de eletrificação e “*cableless*” (sem cabo) que o setor vem assumindo, o que possibilita futuros desdobramentos.

1.2 Objetivo

Este projeto irá propor um conceito de funcionamento de um sistema de um equipamento submarino que se destina a operar uma válvula de atuação hidráulica contida em um equipamento submarino de controle e/ou segurança, através de um único cabo umbilical elétrico, que comunica o respectivo equipamento proposto à plataforma.

Nessa linha, a proposta consiste no seguinte trabalho:

- Compreender de maneira superficial o mercado de óleo e gás;
- Conhecer as principais etapas do processo de exploração e seus meios;
- Analisar o funcionamento das válvulas de atuação hidráulica contidas em equipamentos submarinos;
- Propor uma lógica de funcionamento que possibilite a atuação de válvulas hidráulicas através de cabos unicamente elétricos que às conecta a plataformas;
- Descrever o conceito dos principais componentes, com foco em detalhar o funcionamento, seus recursos e inovações;
- Indicar os possíveis desdobramentos para a solução proposta no presente trabalho.

1.3 Metodologia

Com base na análise dos sistemas de atuação das válvulas contidas em equipamentos submarinos, uma lógica de atuação para eletrificação será proposta de forma a possibilitar a operação destes equipamentos a partir de único cabo elétrico comunicando o referido equipamento com a unidade de superfície.

1.4 Revisão Bibliográfica

Neste projeto, determinados trabalhos teóricos, artigos, livros, normas e outras fontes de informação colaboraram para a definição do escopo, servindo como fonte de consulta e tomada de decisões ao longo dos estudos. Sendo os principais:

- 40 anos na evolução da tecnologia em árvore de natal molhada no brasil (André Luiz Moura de Vasconcelos – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015); Dissertação de mestrado apresentado no programa de engenharia oceânica da UFRJ/COPPE, utilizado como fonte de informação para compreensão do atual cenário submarino no que se refere as ANMs instaladas.
- Análise de confiabilidade das principais válvulas de controle de uma árvore de natal subsea (Mayara de Jesus Rocha Santos – Niteroi: UFF, 2017); Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção do grau bacharel em Engenharia de Petróleo,

utilizado como fonte de informação para compreensão do funcionamento e particularidade de ANMs.

- *Subsea production control systems for all-electric Xmas trees* (Eiliv Janssen – Stavanger: Universitetet I Stavanger; 2013); Sistema submarino de controle de produção para árvore de natal molhada elétrica em tradução livre, trabalho de conclusão apresentado no programa de “*master*” na universidade de Stavanger, utilizado como fonte de informação sobre ANMs elétricas.
- *Design of an Electric X-mas Tree Gate Valve Actuator* (Einar H. Winther Larssen – Oslo: NTNU; 2007); Esquema para uma árvore de natal molhada elétrica de atuador gaveta em tradução livre, trabalho de conclusão apresentado no programa de “*master*” na Universidade norueguesa de ciência e tecnologia (*Norwegian University of Science and Technology*), utilizado como fonte de informação sobre ANMs elétricas.
- Fundamentos de Engenharia de Petróleo (Jose Eduardo Thomas; Interciencia 2001); livro utilizado como fonte de informação geral sobre a indústria de Óleo e Gás.
- Estudo comparativo entre Sistemas Submarinos de Isolamento (SSIS) com Válvulas Submarinas de Isolamento (SSIV) do tipo esfera e gaveta (Pedro Henrique Grechi/UFRGS e André Luiz Rocha Alves/Petrobras; *Produto & Produção*, vol 17 n2, p 71-89, 2016), artigo utilizado para conhecimento e análise dos tipos de válvulas comuns em equipamentos submarinos.
- Mercado e aspectos técnicos dos sistemas submarinos de produção de petróleo e gás natural (André Pompeo do Amaral Mendes, Rodrigo Antonio Parra Romeiro e Ricardo da Cunha Costa; BNDES Setorial 35, p. 155 – 188); Texto utilizado para ampliar os conhecimentos sobre o ambiente submarino na exploração e produção de óleo e gás, de forma abrangente.
- *Application of subsea tree deep water* (J. Koto; Ocean & Aerospace Research Institute Indonesia; segunda edição; 10/2017); ANMs em águas profundas em tradução livre; Texto referenciado para conhecimentos específicos de ANMs com configurações mais atuais (recentes).
- Estudo da utilização de válvula gaveta submarina de águas profundas em poços produtores de baixa lâmina d’água (SILVA, Lanuciano Cristiano; PEREIRA, Leonardo Dias e BENTES, Flavio Maldonado; TEC-USU – Rio de Janeiro, v3, n1, p. 63-75

01/2020); Artigo utilizado para compreender a lógica de funcionamento de válvulas atuadas remotamente por pressão hidráulica.

- *Introduction to subsea engineering for electrical engineers* (Anthony K. Ho, P.E. – 2017; PDHonline Course E443); Introdução na engenharia submarina para engenheiros elétricos em tradução livre; Texto utilizado para conhecimento superficial da elétrica englobada (lógica e equipamentos) nos sistemas de produção de óleo e gás submarino.
- *Subsea PLEM & PLET -Theory & Application* (J. Koto; Ocean & Aerospace Research Institute Indonesia; terceira edição; 03/2018); Teoria e aplicação de PLET e PLEM em tradução livre; Texto referenciado para conhecimentos específicos de PLET e PLEM.

1.5 Organização do Trabalho

Será apresentada uma introdução na indústria de exploração e produção de óleo e gás (hidrocarbonetos) desde seu início até os dias atuais, com enfoque no que se refere ao mercado nacional, seguido de uma análise superficial da cadeia de produção de petróleo, partindo do poço, passando pelo ambiente submarino e chegando a unidade de superfície, com destaque aos principais equipamentos contidos nesta cadeia, e posteriormente será apresentado uma análise sobre as válvulas contidas em equipamentos submarinos, detalhando seus tipos, particularidades e mecanismos de atuação.

A partir da análise das válvulas contidas em equipamentos submarinos e de um levantamento técnico sobre os sistemas de atuação das mesmas, com dados operacionais previamente estipulados, uma lógica de atuação para eletrificação de válvulas de atuação hidráulica contidas em equipamentos submarinos será proposta com o objetivo de possibilitar o controle destes a partir de um único cabo elétrico comunicando a unidade de superfície (plataforma) e o equipamento em campo, posicionado no leito marinho.

Capítulo 2

2 Exploração de Petróleo

2.1 Origem do Petróleo

Diversas teorias giram no entorno da origem e formação do petróleo, sendo a mais aceita atualmente a hipótese de que o óleo é o produto da decomposição de matéria orgânica (plânctons em sua maioria), soterrada há milhões de anos, que por ação da pressão, temperatura, tempo e ambiente pobre em oxigênio, resultou no fluido que se conhece hoje. De forma geral, esse produto é originário ou encontra-se em bacias sedimentares, no interior de rochas porosas que datam de cerca de até 500 milhões de anos. A Figura 1, abaixo, representa de forma ilustrativa e simplificada os principais processos geológicos envolvidos na formação dos reservatórios de petróleo conforme conhecemos hoje.

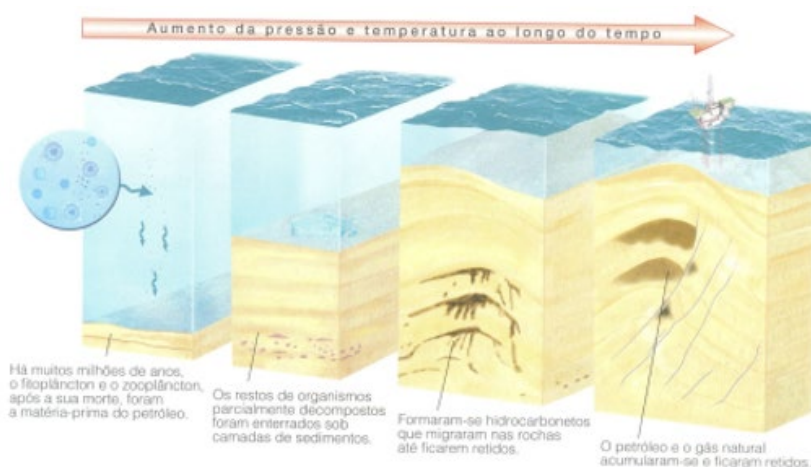


Figura 1 – Esquemático da origem do petróleo (USP, 2020)

2.2 Primeiros Contatos

Segundo THOMAS, J. E. (2001) em “Fundamentos de Engenharia de Petróleo”, os registros de participação do petróleo na vida do homem remontam aos tempos bíblicos. Na antiga Babilônia, os tijolos eram assentados com asfalto e o betume era largamente utilizado pelos fenícios na calafetação de embarcações. Os egípcios o usaram na pavimentação de estradas, para embalsamar os mortos e na construção de pirâmides, enquanto gregos e romanos os utilizavam para fins bélicos. No Novo Mundo, o petróleo era conhecido pelos índios pré-colombianos, que o utilizavam para decorar e impermeabilizar seus potes de cerâmica. Os incas, maias e outras civilizações antigas também estavam familiarizados com o petróleo, dele se

aproveitando para diversos fins. O petróleo era retirado de exsudações naturais encontradas em todos os continentes.

Segundo a citação, o início e a sustentação do processo de busca com crescente afirmação do produto na sociedade moderna datam de 1859, quando foi iniciada a exploração comercial nos Estados Unidos, logo após a célebre descoberta do Cel. Drake, em Tittusville, Pensilvânia, com um poço de apenas 21 metros de profundidade perfurado com um sistema de percussão movido a vapor, que produziu 2m³/dia de óleo. Posteriormente descobriu-se que a destilação do petróleo resultava em produtos que substituíam, com grande eficiência, o combustível obtido a partir do carvão e o óleo de baleia, que eram largamente utilizados para iluminação durante esse período. Estes fatos marcaram o início da era do petróleo.

2.3 No Brasil

Ainda de acordo com THOMAS, J. E. (2001), em “Fundamentos de Engenharia de Petróleo”, no Brasil, em 1938, já sob a jurisdição do recém-criado Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), inicia-se a perfuração do poço DNPM-163, em Lobato, Bahia. O poço foi perfurado com uma sonda rotativa e encontrou-se petróleo a uma profundidade de 210 metros. Apesar de não ser considerado economicamente viável, os resultados do poço foram de fundamental importância para o desenvolvimento das atividades petrolíferas no país.

A partir de 1953, no governo Vargas, foi instituído o monopólio estatal do petróleo com a criação da Petrobras, desse momento em diante se deu início de forma expressiva nas pesquisas por petróleo em território nacional, fomentando a formação de toda uma indústria de serviços voltadas ao atendimento das necessidades da atividade de exploração e produção de óleo e gás.

Continuando o processo de desenvolvimento promovido pela companhia estatal, o grande destaque do setor na década de setenta, quando os campos de petróleo do Recôncavo Baiano estavam na maturidade, foi a descoberta da província petrolífera da Bacia de Campos, RJ, através do campo de Garoupa. Esta se destacava pelo volume de reserva de petróleo estimado e sua localização de campo marítimo.

A década de 80 foi marcada por três fatos de relevância, a constatação de ocorrências de petróleo em Mossoró, no Rio Grande do Norte, apontando para o que viria a se constituir, em pouco tempo, na segunda maior área produtora de petróleo do país, as grandes descobertas dos campos gigantes de Marlim e Albacora em águas profundas da Bacia de Campos, no litoral do Rio de Janeiro; e as descobertas do Rio Urucu, no Amazonas.

Na década de 90 várias outras descobertas já foram contabilizadas, como os campos gigantes de Roncador e Barracuda na Bacia de Campos, em águas profundas do estado do Rio de Janeiro, conforme representado na Figura 2, abaixo.

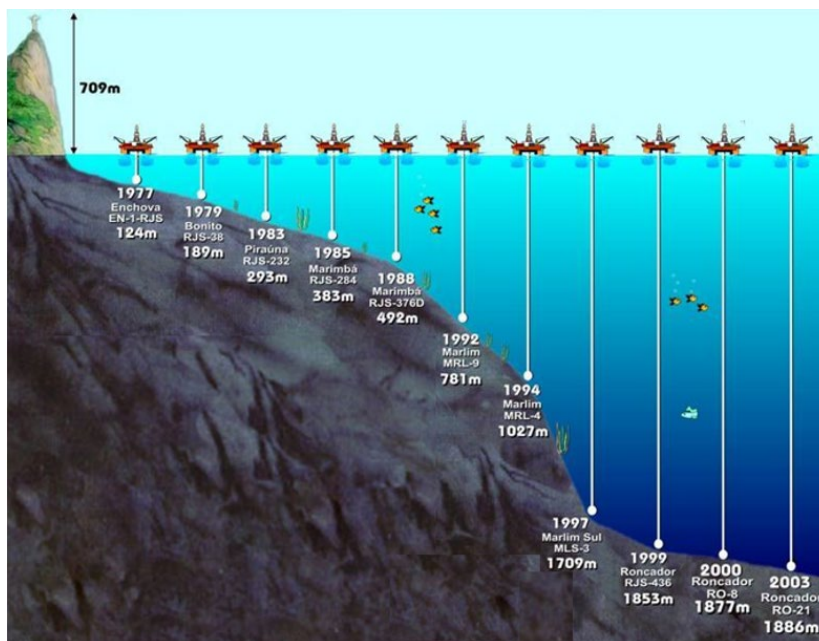


Figura 2 – Avanço da exploração ao longo do tempo. Modificado de (USP)

A partir desse momento, no contexto descrito por THOMAS, J. E. (2001), em “Fundamentos de Engenharia de Petróleo”, conforme citado acima, o país atinge relevância mundial durante o final da década de 90 e início dos anos 2000, no que se refere a exploração e produção de petróleo. Todo esse histórico permitiu o avanço da indústria nacional para o atual cenário de exploração dos campos do Pré-Sal, na bacia de Santos e Campos, que hoje torna o país um dos maiores produtores de petróleo do mundo.

2.4 Pré-Sal Brasileiro

Em setembro de 2007 a Petrobras anunciou a descoberta da primeira reserva de petróleo e gás localizada na região que viria a ser conhecida atualmente como o Pré-Sal Brasileiro, uma região situada entre o litoral do Espírito Santo e o litoral de Santa Catarina, conforme indicado na Figura 3, em uma área de aproximadamente 120 mil km², tendo cerca de 800 km de comprimento e, em alguns pontos, 200 km de largura, com reservas estimadas entre 26 bilhões e 42 bilhões de barris de petróleo, caracterizada por ter soma maioria dos reservatórios em lâminas de água superiores a 2.000m e profundidades de até 7.000m de rocha, totalizando em alguns casos 10.000m de profundidade em relação a superfície. Esta é apontada como uma das principais descobertas de potencial econômico e estratégico do Brasil, e de relevância mundial.



Figura 3 – Mapa de Localização do Pré-Sal Brasileiro (FSMA, 2019)

No momento da descoberta, poucos países possuíam acesso às técnicas de prospecção rochosa necessária, e não havia no mundo tecnologia que permitisse extrair petróleo dessa região de forma rentável, economicamente viável. Ao longo do tempo diversos métodos e equipamentos foram sendo aprimorados de forma a resultar no que há hoje, altos níveis de produção com custos mínimos, possibilitados por um setor de serviços, que entrega tecnologia nacional de ponta, e é tido como referência mundial no que compete a exploração de hidrocarbonetos em águas profundas.

A exploração de óleo e gás em território nacional se limitava a camada denominada como pós-sal, destacando os campos mencionado no item 2.3 deste trabalho, até a descoberta de reservas nessa região denominada como pré-sal.

A figura 4 indica de maneira representativa a localização das referidas camadas (pós e pré-sal), para melhor compreensão e localização do que é tratado no presente trabalho. Nesta, fica claro o posicionamento da região do pré-sal, estando na camada sedimentar abaixo da camada de sal (cristalina).

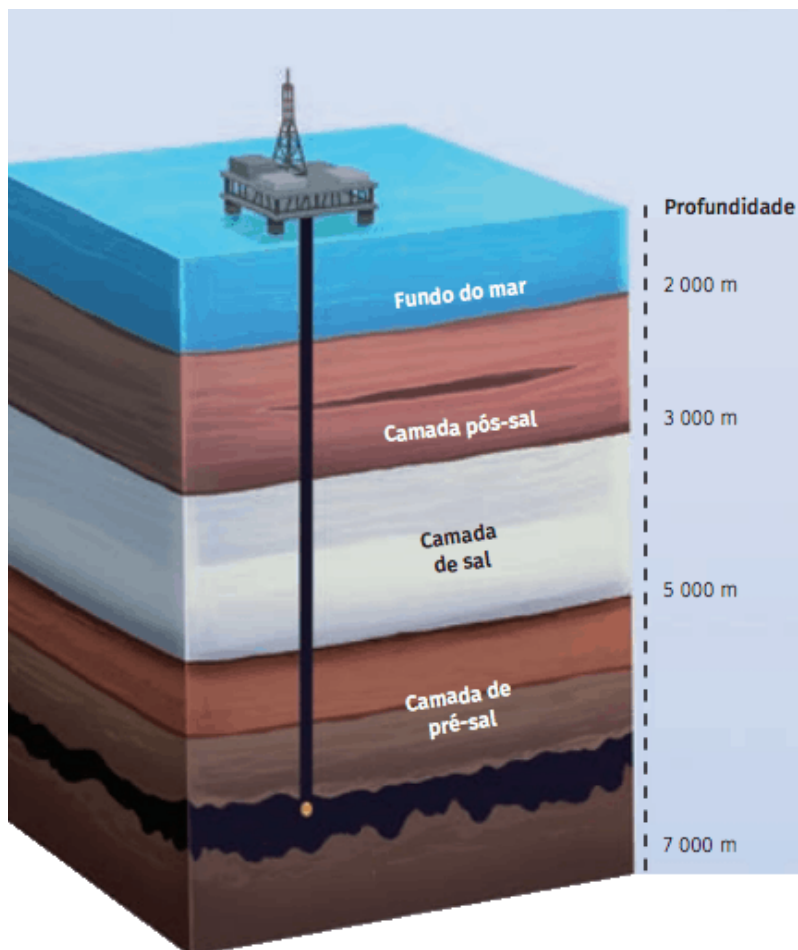


Figura 4 – Representação do Pré-Sal Brasileiro (FSMA, 2019)

Com o objetivo atingir a região de interesse, a qual contém óleo e gás, a indústria teve que se adaptar às novas condições de pressão, temperatura, esforços dinâmicos, e outros requisitos, o que foi desafiador para a engenharia da época, e ainda hoje apresenta determinado grau de complexidade.

Para entender melhor a importância dessa descoberta, o volume recuperável esperado apenas nos campos de Lula e Sapinhoá, equivalem a todo o volume de petróleo e gás já produzido pela Petrobras, desde sua fundação até 2011. Segundo o portal de dados da ANP, Agência Nacional do Petróleo, a produção brasileira é cerca de 3,9 milhões de barris de óleo equivalentes por dia, destes, mais de 3 milhões são extraídos a partir de reservas contidas no Pré-Sal Brasileiro.

Capítulo 3

3 Sistemas de Exploração e Produção

A descrição do sistema de exploração e produção realizada neste trabalho consiste em mencionar e detalhar parcialmente os principais componentes, equipamentos e etapas para resultar num sistema típico de exploração e produção de óleo e gás, sendo considerado para fins de caracterização e classificação do conjunto de equipamentos a serem citados, o necessário ao atendimento de reservatórios localizados em campos submarinos, sendo pós-sal ou pré-sal (não limitante).

Desta forma, o texto a seguir se divide em quatro segmentos:

- Poço de Petróleo
- Árvore de Natal Molhada
- Infraestrutura Submarina
- Unidade de Superfície

Cada segmento é detalhado e apresentado com os pontos de interesse e suas particularidades, mantendo o foco no tema abordado neste trabalho.

A exploração de reservatórios contido em campos terrestres é de grande relevância no que diz respeito a extração e produção de óleo e gás, tanto nacional quanto mundial, entretanto, não é citada no presente trabalho por não ser de interesse e não ter alinhamento com a proposta apresentada, visto que este tem como objetivo propor um sistema para eletrificação de válvulas de atuação hidráulica contidas em equipamentos submarinos.

3.1 Poço de Petróleo

O poço de petróleo consiste em um canal, em formato de furo e constituído por tubos, que tem como objetivo comunicar o reservatório contido no subsolo, em profundidades da ordem de quilômetros, como o leito marinho, superfície considerada para este trabalho, conforme indicado no item 3 do presente texto. Este poço atravessa uma ou mais zonas de interesse (que contêm óleo), de um ou mais reservatório(s), e através de acessos laterais o óleo adentra a tubulação do poço e escoar no sentido da superfície de forma controlada.

O controle do escoamento de óleo por dentro do poço é obtido através de equipamentos específicos instalados em seu interior, estes equipamentos fazem a medição de temperatura, pressão, abertura e fechamento de passagens, injeção de produtos químicos ou gás entre outros recursos.

3.1.1 Perfuração

Um poço de petróleo tem seu início na etapa de perfuração do leito marinho. Esta operação se dá a partir de “sondas” (Figura 5), que são barcos preparados para as especificidades requeridas às operações, como pressão, temperatura e altas taxas de vazões multifásicas (água, óleo, lama, fluidos especiais e gás).



Figura 5 – Sonda de Perfuração em águas no estado do Rio de Janeiro (Seadril)

THOMAS, J. E. (2001), descreve essa operação como perfuração rotativa, onde as rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração, a qual consiste basicamente de comandos (tubos de paredes espessas) e tubos de perfuração (tubos de paredes finas). Os fragmentos das rochas são removidos continuamente através da circulação de um fluido de perfuração ou lama. O fluido para essa circulação é injetado por bombas para o interior da coluna através da cabeça de injeção, ou *swivel* (mecanismo que possibilita a rotação), localizado na embarcação, e retorna à superfície através do espaço anular formado pelas paredes do poço e a coluna de perfuração, conforme representado não Figura 6.

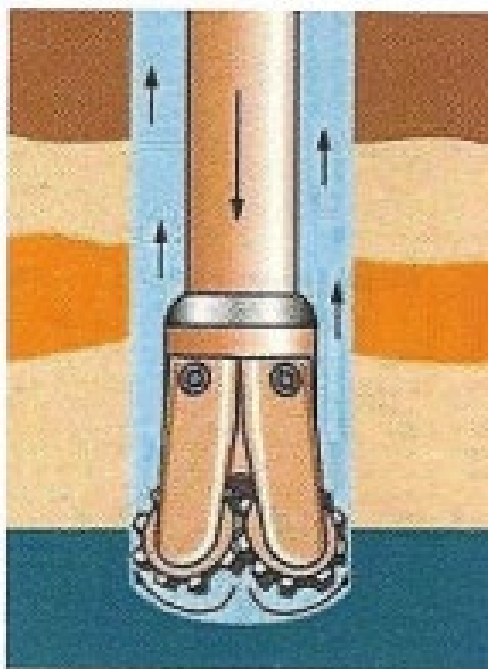


Figura 6 – Fluxo de fluido durante a perfuração (Silva - 2013)

Ao atingir determinada profundidade, a coluna de perfuração é retirada do poço e uma coluna de revestimento de aço, de diâmetro inferior ao da broca, é descida no poço de forma a revesti-lo internamente. O espaço entre os tubos do revestimento e as paredes do poço, denominado na indústria como “anular B”, é cimentado com a finalidade de isolar as rochas e formações atravessadas, evitando a possível comunicação entre regiões, permitindo, então, o avanço da perfuração para as próximas etapas com segurança. Após a operação de perfuração, instalação do revestimento e sua respectiva cimentação, a coluna de perfuração é novamente descida no poço, tendo na sua extremidade uma nova broca de diâmetro menor do que a do revestimento para o prosseguir com a perfuração.

Conforme descrito acima, percebe-se que o poço é perfurado em diversas etapas, caracterizadas pelos diferentes diâmetros de brocas, e diferentes diâmetros de coluna de revestimento, conforme representado na Figura 7.

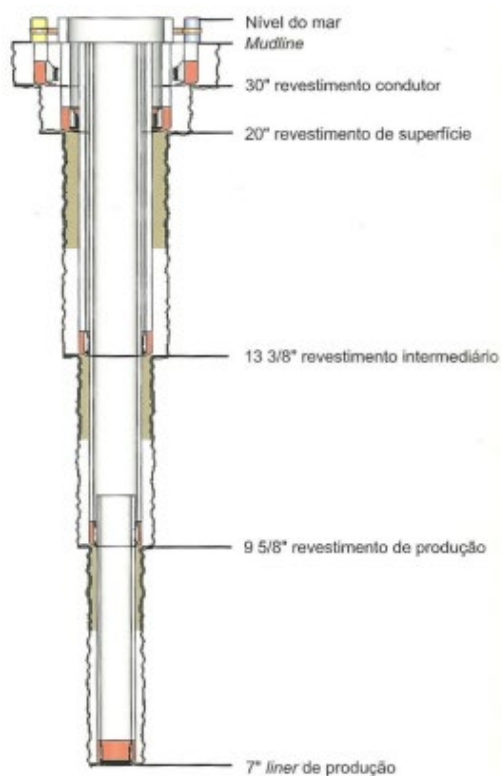


Figura 7 – Configuração tradicional de um poço de petróleo (Rocha e Azevedo - 2009)

3.1.2 Coluna de Completação

Após a finalização da perfuração do poço, a etapa seguinte é sua completção, de forma a prepará-lo para produção. A completção é considerada a interface entre o reservatório e a superfície, e tem como objetivo equipar o poço de forma a possibilitar o controle da produção de fluido desejado (óleo ou gás), de forma segura e econômica. Ela ocorre através da instalação de equipamentos dentro do poço, sendo estes responsáveis pelo controle da vazão dos fluidos, aquisição de dados, elevação artificial e outras funções não limitantes. São alguns exemplos desses equipamentos:

- **Válvula de Controle de Fluxo:** Equipamento on-off, multiposição, ou de posicionamento “infinito” responsável por reduzir ou fechar a produção de uma determinada zona de óleo quando comandado.
- **Sensor de Pressão e Temperatura:** Equipamentos de alta confiabilidade e precisão, responsáveis pela aquisição de parâmetros operacionais da região onde estão instalados. Esses parâmetros são processados e analisados para compreensão das condições de produção do reservatório, e quando cruzado com informações de outros poços pode-se caracterizar o campo.

- **Mandril de Injeção Química:** Equipamento caracterizado por uma válvula do tipo check, unidirecional, responsável por possibilitar a injeção de fluidos químicos, de engenharia, que atuam de forma a remediar a formação de incrustações e hidratos, que comprometem os níveis de produção (escoamento).
- **Mandril de injeção de Gás:** Equipamento caracterizado por uma válvula do tipo check, unidirecional, responsável por possibilitar a injeção de gás na coluna através do anular, de forma a reduzir o peso específico do óleo e facilitar/possibilitar seu escoamento para superfície.
- **Obturador:** Equipamento de vedação responsável por isolar uma região/formação da outra dentro do mesmo poço, evitando assim a comunicação indesejável e de forma descontrolada entre estes.
- **Válvula de Segurança:** Equipamento do tipo válvula de comportamento “normalmente fechada”, que em operação é responsável por fazer o fechamento do poço em caso de acidentes, sinistros ou perda de controle/comunicação.
- **Coluna:** tubulação responsável por escoar a produção, até a cabeça do poço, evitando a contaminação e/ou vazamento de fluido.

Os equipamentos descritos acima podem ser considerados como os mais tradicionais, aplicados em poços de campos marítimos, mas não sendo essa configuração uma restrição. A Figura 8 representa um esquemático da completação de poço tradicionalmente aplicada em campos marítimo com mais de duas zonas de interesse.

Dadas as características e particularidades do mercado de óleo e gás, de extensão global, muitos equipamentos acabam sendo reconhecidos através de abreviaturas ou termo em inglês, o quadro abaixo simplifica e correlaciona estes termos com os citados.

Abreviação	Descrição	Tradução Livre	Abreviação
DHSV	<i>Downhole Safety Valve</i>	Válvula de Segurança de Poço	N/A
GLM	<i>Gas Lift Mandrel</i>	Mandril de Injeção de Gás	MGL
N/A	<i>Packer</i>	Obturador	N/A
ICV	<i>Inflow Control Valve</i>	Válvula de Controle de Fluxo	N/A
PDG	<i>Permanent Downhole Gauge</i>	Sensor de Fundo de Poço	N/A
CIM	<i>Chemical Injection Mandrel</i>	Mandril de Injeção Química	MIQ

Quadro 1 - Equipamentos de Completação de Poços

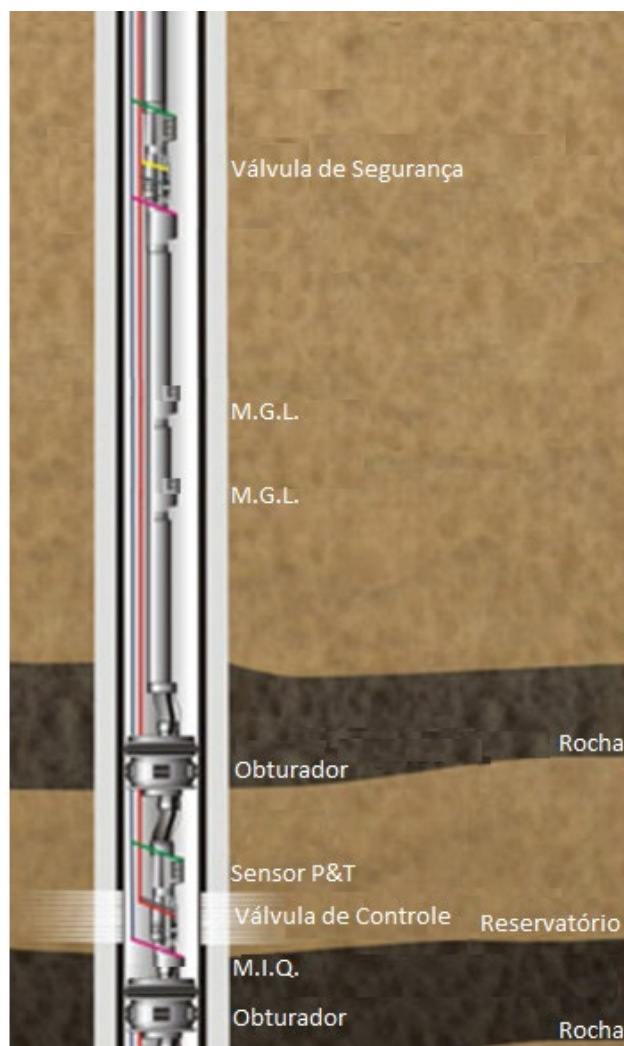


Figura 8 - Configuração tradicional de uma completção. Modificado (Petrobras)

Cabe ressaltar que os componentes da coluna de completção do poço se caracterizam por operarem em condições “extremas”, sobre elevados níveis de vibração, induzidos pelo escoamento do fluido no interior, alta pressão devido característica de reservatório e alta temperatura devido a profundidade na qual o poço se encontra.

Ainda, para cada poço existe uma configuração de completção mais adequada, variando os tipos equipamentos, seus respectivos tamanhos, suas principais funções, a estrutura empregada, dentre outros aspectos; de forma a tornar o processo de exploração o mais eficiente possível. Essa configuração varia em função das características do poço e dos equipamentos disponíveis, resultando em uma infinidade de combinações entre equipamentos, estruturas e tipo de formação.

3.2 Arvore de Natal Molhada

A árvore de natal molhada (ou ANM) é um conjunto de válvulas posicionadas na cabeça de poço e destinadas ao controle do fluxo de fluido do poço (produzido ou injetado), além de, quando dispendo de sensores, prover e realizar o monitoramento dos parâmetros durante o período de produção. As ANMs também desempenham a função de barreira de segurança, sendo um dos principais equipamentos nesse aspecto, dispendo de diversos elementos de segurança operacional, de forma a evitar vazamentos de fluidos para o ambiente externo em caso de falha ou sinistros.

Segundo MOREIRA, J. R. (2004), em “Apostila de Treinamento de Projetistas de Poço” a ANM pode ser definida como um subconjunto do sistema submarino de exploração e produção de óleo e gás, que forma a passagem entre este sistema e o poço. E é através da ANM que, a partir de um comando executado na unidade de superfície, é obtida a abertura e/ou fechamento de válvulas para dessa forma prover o controle da produção, ou injeção, no caso de poços injetores, do poço. Ainda, a ANM também opera de forma a obter registros de parâmetros da produção, como pressão e temperatura na ANM e poço.

A ANM pode ser caracterizada também como um equipamento de segurança e de proteção do ambiente, visto que suas válvulas são, do tipo fail-safe-close, ou seja, fecham em caso de perda de pressão nas linhas de controle, conforme será detalhado no decorrer do presente trabalho.

3.2.1 Classificação das ANMs

Atualmente no mercado existem diversas formas de classificação deste tipo de equipamento, seja por classe de pressão de trabalho, metalurgia, equipamentos/tecnologia embarcada, geometria, ambiente de trabalho, método de instalação e outros. A classificação mais tradicional usada atualmente é quanto a sua configuração geométrica, onde o referido equipamento pode ser enquadrado como vertical ou horizontal.

A ANM vertical é a configuração mais antiga e tradicional. Nesse modelo as válvulas encontram-se posicionadas no sentido vertical, acima da cabeça do poço e de forma alinhada com a coluna de produção, conforme observado na Figura 9, abaixo.

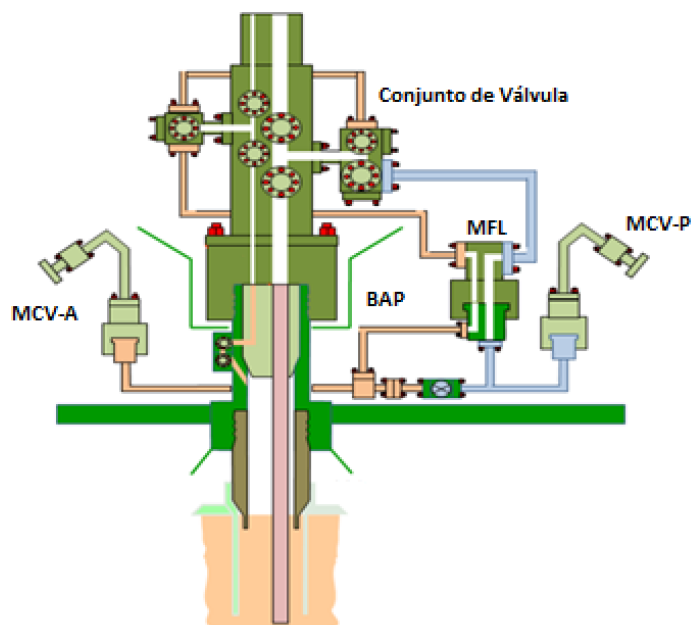


Figura 9 – ANM Vertical. Modificada (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

A ANM horizontal se caracteriza pelo sistema de controle posicionado na lateral do equipamento. Isso possibilita o acesso mais fácil para intervenção em poços ou operações de recondicionamento, uma vez que a remoção do suspensor da coluna não precisa necessariamente exigir a remoção do próprio equipamento, conforme observado na Figura 10, abaixo.

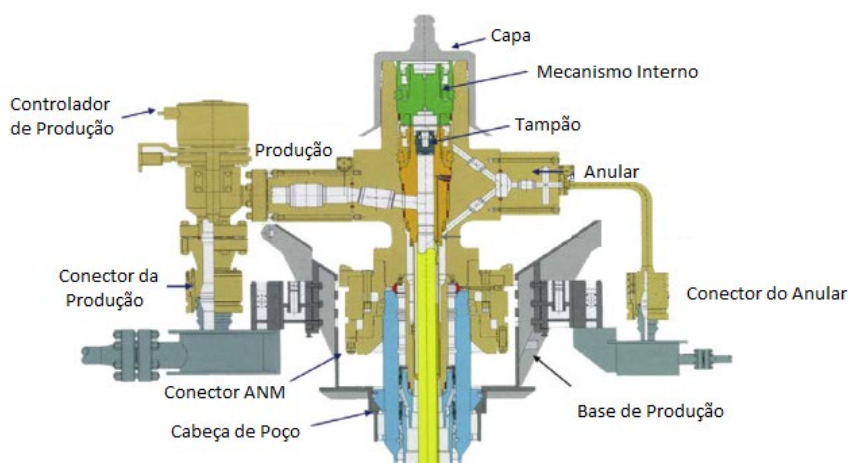


Figura 10 - ANM Horizontal. Modificada (J. O. E. Technology, 2007)

3.2.2 Base Adaptadora de Produção

A Base Adaptadora de Produção (BAP) é um equipamento que vai assentado diretamente na cabeça do poço e serve como base para os demais componentes da ANM, que são posicionados e montados sobre na mesma. Este equipamento deve ser capaz de suportar

todos os carregamentos resultante do apoio da coluna de produção, carga de componentes instalados sobre e das operações de intervenção ou conexão com linhas. A Figura 11, abaixo, refere-se a uma BAP e possui indicação dos principais componentes e interfaces.

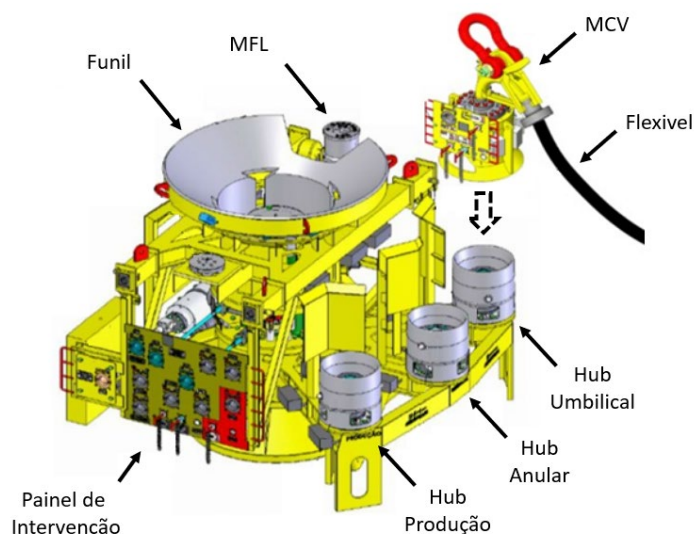


Figura 11 – BAP (FSMA)

As interfaces contidas na BAP operam da seguinte maneira:

Interface	Função
Funil	Geometria de espera para montagem do sistema de controle.
Painel de Intervenção	Sistema de comando operado por ROV.
Hub Produção	Bocal para conexão da linha de produção
Hub Anular	Bocal para conexão da linha de serviço (anular)
Hub Umbilical	Bocal para conexão da linha de controle (umbilical)
MFL	Interface de conexão hidráulica entre BAP e conjunto de válvulas.

Quadro 2 - Interfaces da BAP

O funil consiste em uma geometria específica destinada a montagem do módulo de controle (conjunto de válvulas). Nesta interface há diversos pórticos e anéis de vedação para fazer a acoplagem entre canais, linhas e estruturas.

O painel de intervenção é o sistema de comando e controle da BAP, este é operado por ROV – *Remotely Operated Vehicle* (veículo operado remotamente) a partir de pressão hidráulica ou torque mecânico para fazer travamentos e deslocamento de componentes internos, do respectivo subconjunto. O ROV será detalhado no decorrer do presente trabalho.

Os Hubs (produção, anular e umbilical) são bocais para as respectivas conexões com as linhas de um poço. Essas conexões se dão através de equipamentos específicos à estas, e contemplam geometria complexa com sistemas de vedação e mecanismos de travamento.

O Mandril das Linhas de Fluxo (MFL) é a interface que permite a comunicação do conjunto de válvulas da ANM com os bocais de conexão das linhas de fluxo (produção e anular), possibilitando dessa forma o controle dos fluidos que passam pela coluna de produção e pelo anular.

Dadas as necessidades estruturais para a conexão com linhas de escoamento, e a ausência de postos de fixação/ancoragem externos na região próxima ao poço, os canais de fluxo (produção e serviço) oriundos do poço passam pelo conjunto de válvulas, para controle, e seguem escoando pela tubulação em direção à BAP através do MFL, conforme citado acima. A BAP por sua vez, possui em sua estrutura um conjunto de tubulações de direcionamento desses canais para seus respectivos bocais, por onde serão conectadas as respectivas linhas de escoamento. Esse direcionamento interno contido na estrutura da BAP é representado na Figura 12.

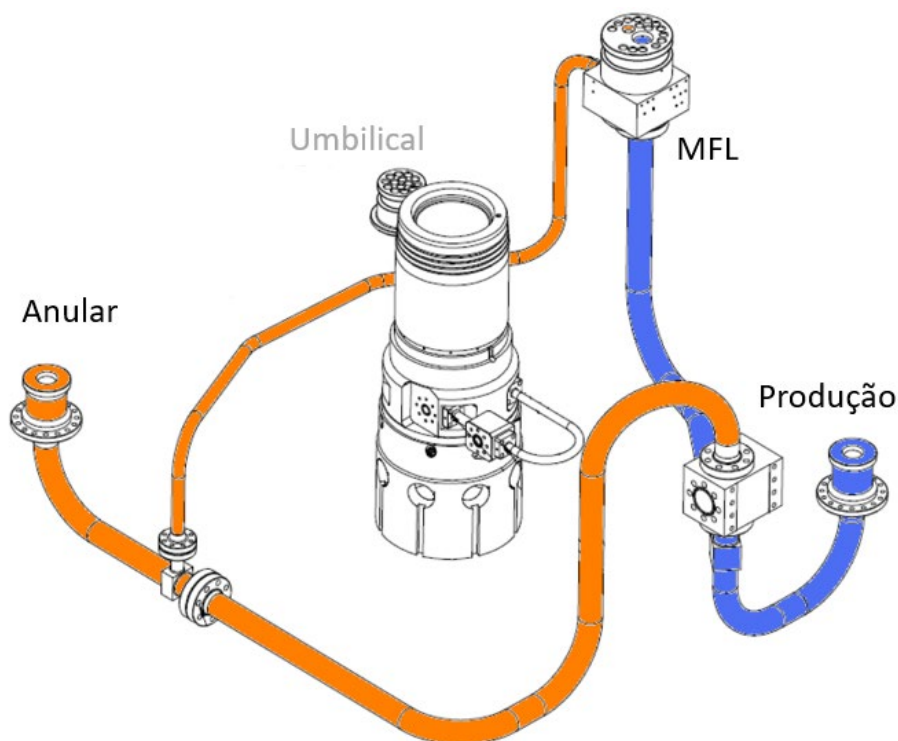


Figura 12 - Sistema de Escoamento da BAP (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

Tanto o MCV quanto o Flexível, componentes indicados na Figura 11, serão abordados nos tópicos seguintes, uma vez que estes possuem suas particularidades e relevâncias no sistema de exploração e produção de óleo e gás.

3.2.3 Conjunto de Válvulas

A função primordial da ANM é controlar a passagem de fluido entre a superfície e poço, isso é permitido a partir do conjunto de válvulas contido na mesma, sendo as principais denominadas como *Master* (1 e 2) e *Wing* (1 e 2). Essas válvulas fazem o controle de abertura e fechamento dos canais de produção e anular, e trabalham em duas posições, aberta ou fechada.

A válvula *Master 1* é o principal elemento de controle da ANM, esta trabalha em conjunto com a válvula *Wing 1*, que é sua redundância, para fazer a abertura e fechamento do acesso referente a coluna de produção, por onde escoo o fluido produzido pelo poço ou injetado neste.

Já a válvula *Master 2*, tem como redundância a válvula *Wing 2* e ambas trabalham em conjunto para abertura e fechamento do canal referente ao anular do poço, canal caracterizado como de serviço, utilizado para recirculação ou injeção de fluidos específicos de engenharia (operacional) de poço.

As demais válvulas contidas no sistema macro das ANMs (*Crossover*, *Swab 1* e *Swab 2*) possuem funções específicas, destinadas às operações de intervenção, não operando em condição de produção ou injeção de fluido (dentro da normalidade).

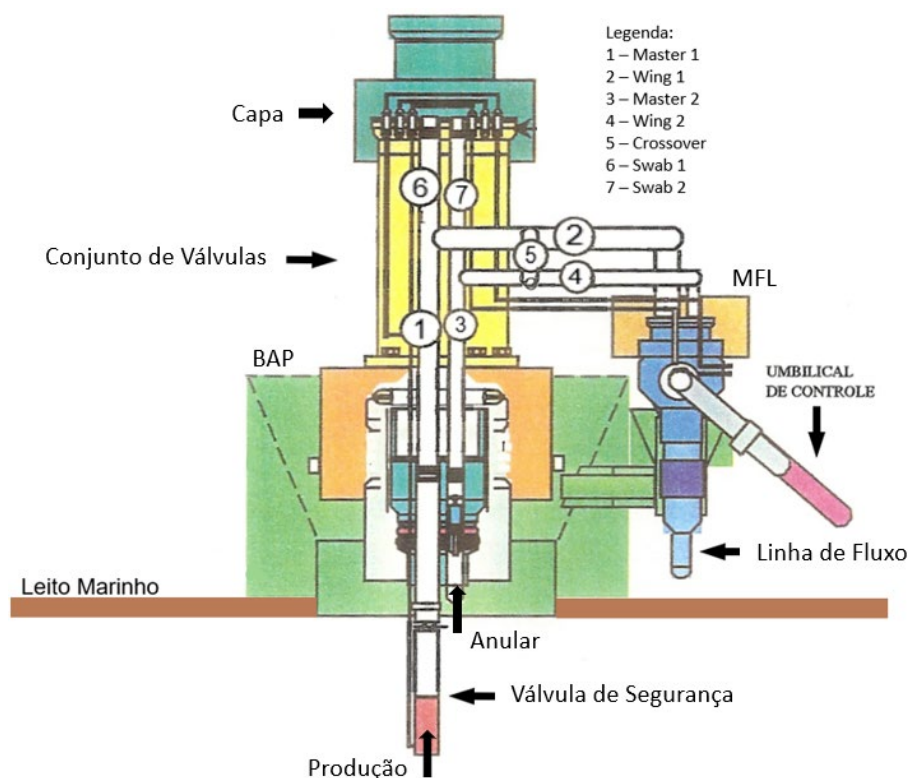


Figura 13 – Esquemático Válvulas ANM. Modificada (Petrobras 2002)

As válvulas *Master* (1 e 2) e *Wing* (1 e 2) e *Swab* (1 e 2) são acionadas a partir da unidade de superfície por meio de pressão hidráulica, que chega no respectivo equipamento através da linha umbilical (controle). Dessa forma operam as respectivas válvulas, fazendo o direcionamento do fluxo de fluido conforme o controlador determina. O mecanismo de acionamento destas válvulas, assim como seus detalhes, de operação são descritos no capítulo 4 deste trabalho.

Ainda, no topo do corpo do conjunto de válvula existe uma série de bocais e conectores hidráulicos e elétricos, que se destinam apenas para operações de intervenção no poço. Esses conectores, quando em operação, ficam tamponados por uma capa denominada *treecap* (capa da árvore).

3.2.4 Módulo de Conexão Vertical

O Módulo de Conexão Vertical (MCV), é o equipamento responsável pela conexão entre as linhas flexíveis e a ANM, conectando esta a unidade de superfície. Apesar de ter uma configuração simplificada, este possui suma importância, visto que deve resistir a cargas elevadas oriundas da operação de instalação, resistir ao ambiente submarino, possibilitar o isolamento e vedação entre canais, assim como desempenhar a conexão submarina através de embarcações. A Figura 14 representa um MCV.

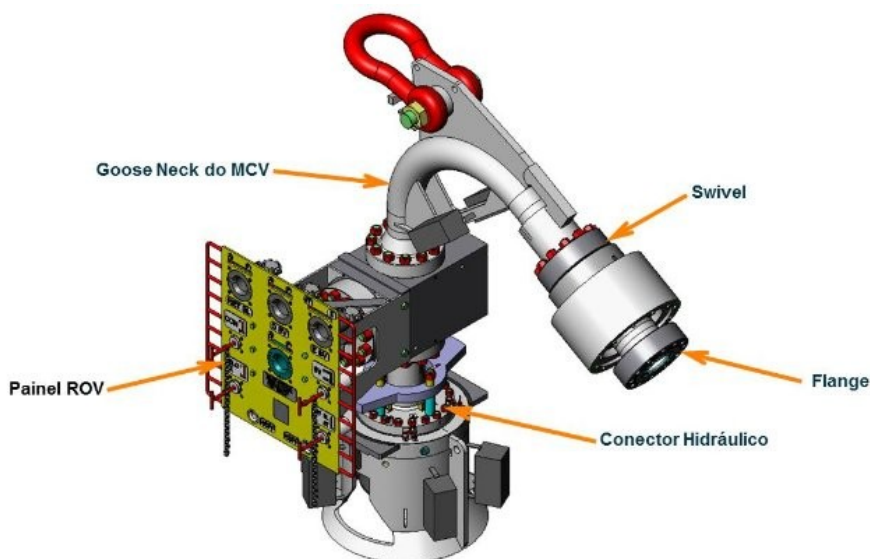


Figura 14 – MCV (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

Dentre os principais componentes do MCV podemos destacar:

Componente	Descrição
Flange	Interface de conexão entre o equipamento e a linha flexível.
<i>Swivel</i>	Mecanismo que impede a torção da linha durante a operação de lançamento e instalação.
Goose neck (pescoço de ganso)	Geometria específica que possibilita a operação de conexão do equipamento no respectivo hub da BAP, através de uma embarcação na superfície marítima.
Conector Hidráulico	Geometria/mecanismo que monta no respectivo hub da BAP de forma a estabelecer comunicação hidráulica.
Painel do ROV	Interface de comando operada por ROV, possibilitando a abertura, fechamento de travamento de sistemas e mecanismos.

Quadro 3 - Componentes do MCV

Destaca-se que independentemente do tipo de linha flexível, produção, anular (serviço) ou umbilical (controle), a conexão desta com a ANM é obtida através de um MCV específico, variando esse de acordo com o fornecedor, modelo de conectores, modelo de ANM e outros aspectos.

3.3 Sistema Submarino

O sistema submarino consiste em toda a infraestrutura da cadeia de exploração e produção de óleo e gás instalada no leito marinho. Este varia de acordo com as características do campo no qual é empregado, pois deve ter como foco o atendimento às suas necessidades, sendo suas particularidades, componentes e configurações definidas ainda em fase de projeto.

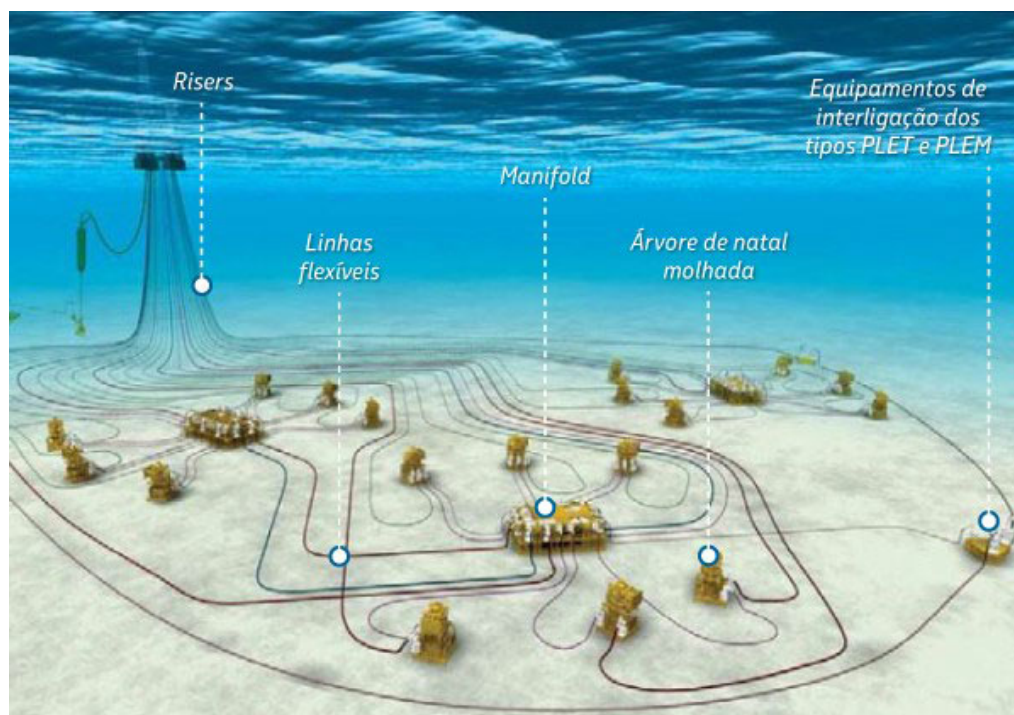


Figura 15 - Sistema Submarino (Petrobras)

A Figura 15 é uma representação característica da infraestrutura instalada no leito marinho de um campo do Pré-Sal Brasileiro. Esses campos se caracterizam como de alta produtividade, em lâmina d'água profunda, com aproximadamente 2.000m, e distante do continente na ordem de centenas de quilômetros.

3.3.1 Manifolds

Esse equipamento consiste em um conjunto de válvulas, tubulações e conectores que desempenham a função de direcionar a produção de vários poços para a unidade de superfície através de uma única linha, promovendo a simplificação da infraestrutura submarina e necessitando de uma quantidade menor de linhas para produzir em uma mesma quantidade de poços.

Existem diversas configurações de manifolds, para diversos tipos de aplicações, mas o conceito geral é sempre o mesmo, que consiste em operar dois ou mais poços por meio de linhas compartilhadas, o que traz simplificação e otimização do sistema de extração de óleo e gás.

Uma configuração básica do manifold utilizado nos campos do pré-sal brasileiro é o de dois poços. Essa configuração consiste em três linhas (produção, anular/serviço e umbilical/controlado) interligando a unidade de superfície ao manifold, e a partir deste, cada linha é derivada em duas, sendo direcionadas para os dois poços, conforme indicado na figura 16.

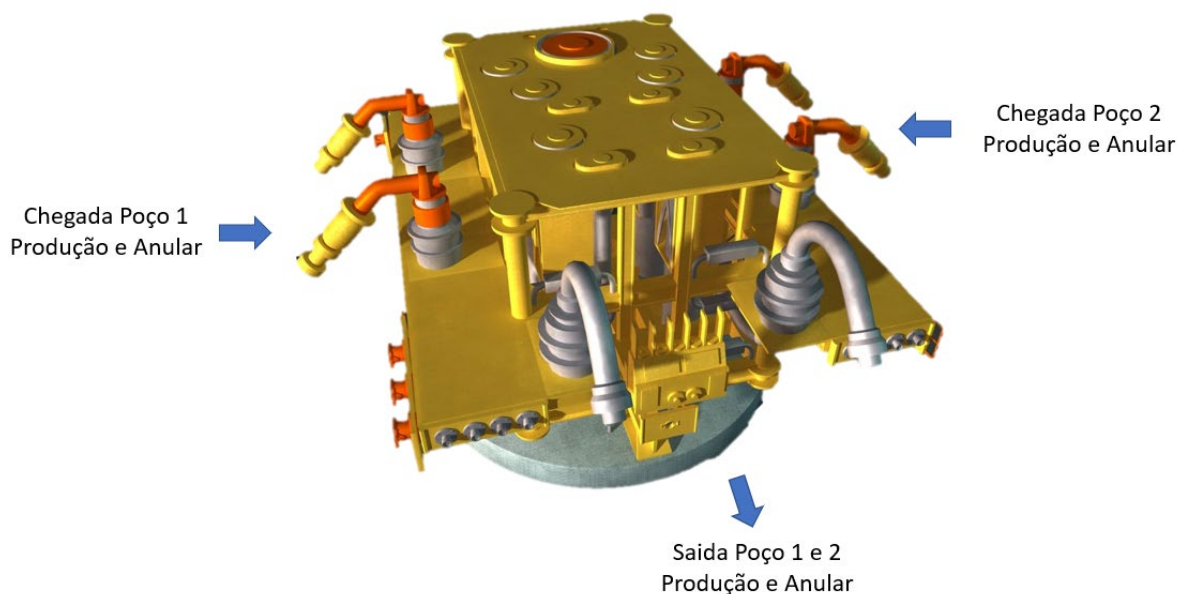


Figura 16 - Representação do Manifold

A derivação que ocorre no interior deste equipamento submarino, conforme citado acima, possibilita a operação de controle e produção de dois poços através de um único sistema compartilhado.

Para fins de comparação, caso não fosse considerado o manifold para a condição citada anteriormente, essa interligação entre os poços “um” e “dois” com a unidade de superfície, exigiria seis linhas, duas de cada tipo (produção, anular e umbilical).

A comutação das derivações das linhas de produção e anular são comandadas a partir da unidade de superfície por meio de pressão hidráulica, que chega no respectivo equipamento através da linha umbilical (controle). Esta opera as válvulas contidas no respectivo equipamento submarino, fazendo o direcionamento do fluxo de fluido conforme o controlador determina. Destaca-se que o sistema de derivação da linha de umbilical/controlado pode sofrer variações conforme a necessidade de cada poço/projeto.

Em questões de tamanho e dimensão, o manifold geralmente se apresenta com maior estrutura se comparado aos demais equipamentos submarinos em operação no campo marítimo, trazendo custos à produção e comissionamento (transporte, teste e instalação). O lançamento desse tipo de equipamento é executado por embarcações especiais, preparadas para esse tipo de operação, devido as cargas envolvidas. A figura 17 consiste em um registro do overboarding (lançamento a partir de embarcação) do manifold durante a operação de instalação.

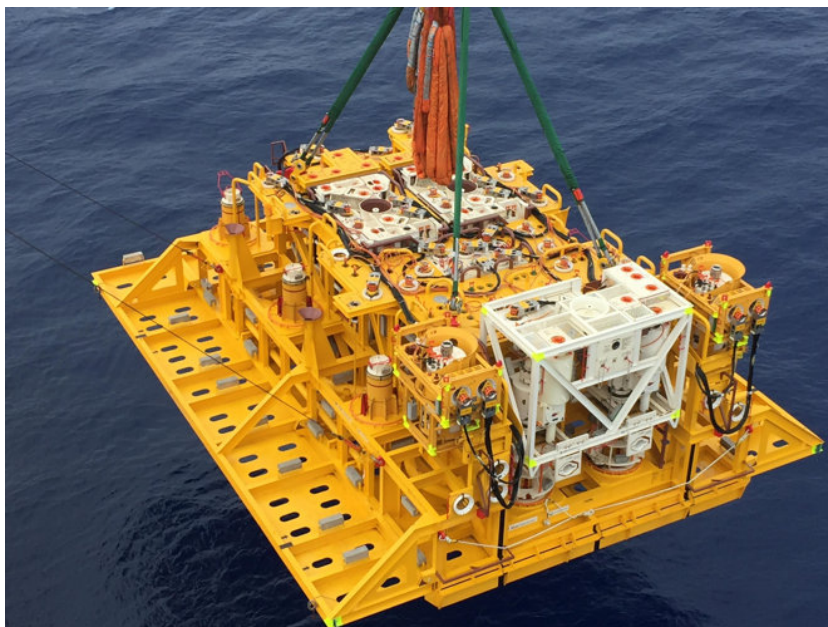


Figura 17 - Manifold Submarino em Lançamento (Aker Solution)

3.3.2 PLET e PLEM

PLET – *Pipe Line end Termination* (Terminação de linha) e PLEM – *Pipe Line end Manifold* (Derivação de linha) são equipamentos submarinos simples que possibilitam a conexão entre dutos de forma prática às operações. Esses equipamentos desempenham a função de interface para conexão submarina entre diferentes trechos de linhas, de diferentes tipos ou não, possibilitando a mudança nas interligações de forma mais prática, sem necessidade de recolher linhas, por exemplo.

A diferença entre esses equipamento consiste se, o mesmo possibilita derivação da linha ou não. Enquanto o PLET não possibilita a derivação por conter apenas dois conectores, o PLEM possibilita uma ou mais derivação, conforme especificação do equipamento ou necessidade do projeto. Essas diferenças ficam mais evidentes ao observar a figura 18.

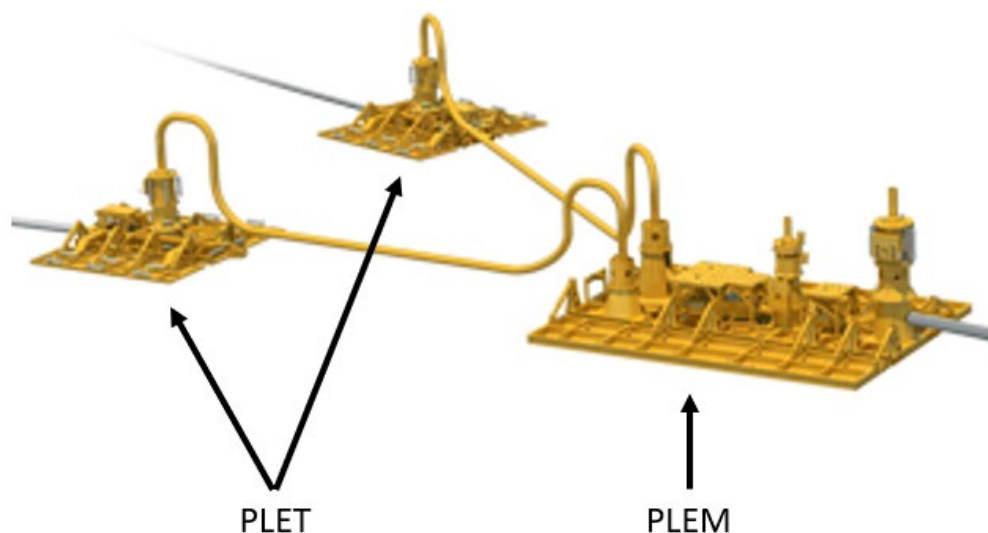


Figura 18 - PLET e PLEM Interligados. Modificada (Oilstates)

Esses equipamentos são de porte pequeno, visto que operam linhas individualmente, e específicas (de tipo único), diferente do manifold. Ainda, estes contam com uma série de válvulas no seu interior para possibilitar o controle de fluxo e direcionamento, se aplicável. Destaca-se que na maioria dos casos o controle das válvulas contidas no interior desses equipamentos é tido a partir da unidade de superfície, através de pressão hidráulica, que chega no respectivo equipamento por meio da linha umbilical (controle) e opera, fazendo o direcionamento do fluxo de fluido conforme o controlador determina.

3.3.3 SSIV's

SSIV – *Subsurface isolation valve* (válvula de isolamento submarino) é um equipamento submarino dedicado especificamente à segurança operacional do sistema de extração de óleo e gás, atuando como uma de barreira de segurança dedicada à unidade de superfície, visto que esta é instalada ao longo da linha, ainda no leito submarino. Sua principal característica é a atuação de forma automática em caso de acidente, falha ou comandado, interrompendo imediatamente o fluxo de fluido através dela.

O principal objetivo dessa válvula é proteger a unidade de superfície e seu pessoal de um evento catastrófico envolvendo a liberação descontrolada de óleo ou gás (hidrocarbonetos). Sendo uma válvula do tipo normalmente fechada, seu funcionamento consiste na constante energização (pressurização) por potência hidráulica do atuador da válvula contida no interior deste equipamento submarino. Dessa forma, em caso de falha, acidente ou comandado, a potência hidráulica em forma de pressão cessa e o sistema de retorno da válvula age imediatamente executando o fechamento.

A atuação desse tipo de equipamento submarino é tida a partir da unidade de superfície, sendo esta responsável por gerar a potência hidráulica constante necessária à sua atuação. Assim como nos demais equipamentos submarinos, é necessária uma linha umbilical contendo ao menos uma via hidráulica para comunicar a unidade de superfície ao equipamento submarino, conforme indicado na Figura 19.

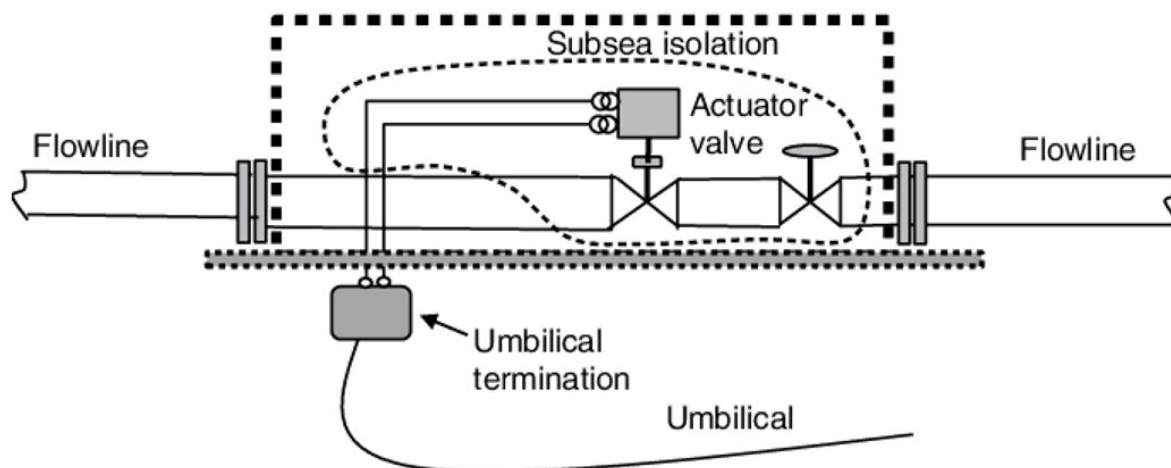


Figura 19 - Esquemático SSIV's (Sirous Yasseri)

O Quadro 4 apresenta a descrição dos componentes indicados na Figura 19.

Designação	Descrição
<i>Subsea Isolation</i>	Região onde ocorre o fechamento da linha, e conseqüente isolamento entre posições.
<i>Actuator Valve</i>	Atuador Hidráulico da válvula, responsável por promover a abertura e fechamento da válvula nas condições operacionais.
<i>Umbilical Termination</i>	Interface de conexão entre o cabo umbilical advindo da unidade de superfície e o respectivo equipamento submarino.
<i>Umbilical</i>	Cabo responsável pela comunicação hidráulica entre unidade de superfície e equipamento submarino, com ao menos uma via
<i>Flowline</i>	Linha flexível de fluxo, podendo ser de produção ou anular (serviço).

Quadro 4 - Referencias da Figura 19

3.3.4 Dutos Flexíveis

As linhas flexíveis são bastante utilizadas na infraestrutura submarina de exploração e produção de óleo e gás, especialmente no Brasil em que, devido às características do campo, a destacar o Pré-Sal, considerou-se que esse duto apresentava a melhor solução em observação à sua flexibilidade e capacidade local. As linhas flexíveis são compostas por diversas camadas de materiais de diferente natureza como poliméricos, compósitos e metálicos, entre proteções, fitas e arames, conforme observado na Figura 20.

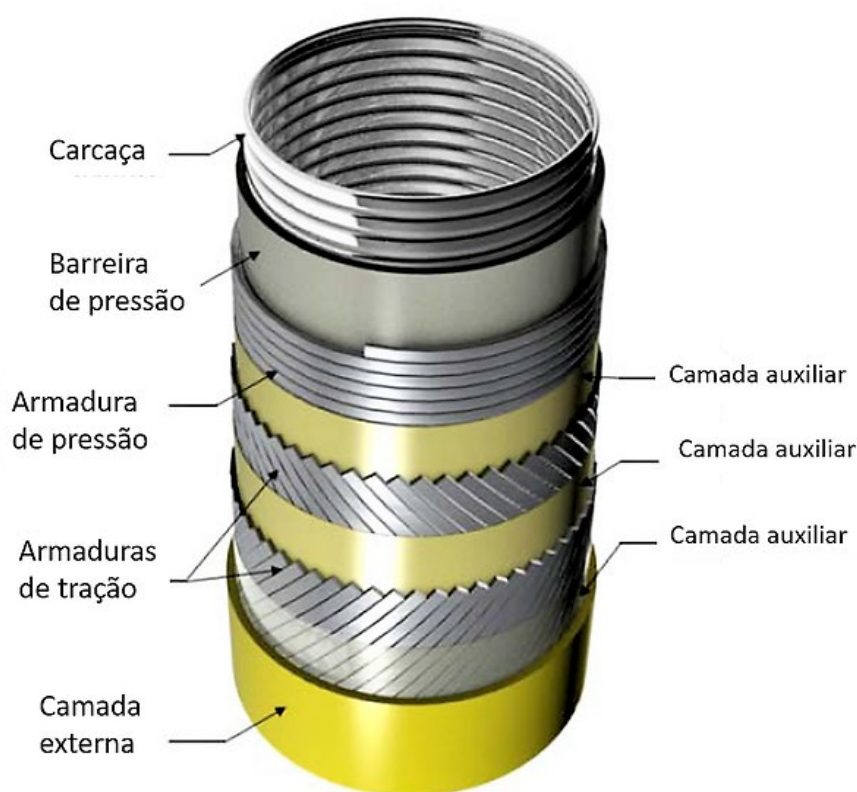


Figura 20 - Estrutura Duto Flexível (Débora Molter, 2021)

Algumas das principais vantagens dos dutos flexíveis é a possibilidade de reutilização dos tramos (trechos) sem demandar ajustes e/ou adequações em fábrica, simplificação nas conexões e manobras durante operação de lançamento, e seu formato de armazenamento em cesta e bobinas que facilita a logística, permitindo acomodações e arranjos de estocagem mais eficientes conforme observado na Figura 21.



Figura 21 - Duto Flexível Armazenado em Bobinas (NOV, 2012)

De forma simplória, os dutos flexíveis se diferem de acordo com sua demanda estrutural, podendo ser classificados em dois tipos, como flowline ou como riser. Os flowlines são caracterizados por não estarem submetidos a grandes esforços de tração, estes operam apoiados no leito marinho e possuem uma estrutura mais simplificada. Já os risers são as estruturas que ficam suspensas entre a unidade de superfície e o leito marinho, estas são responsáveis por suportar o peso da catenária, estando sujeito a cargas de tração e flexões cíclicas durante operação devido os deslocamentos da unidade de superfície e influência das marés.

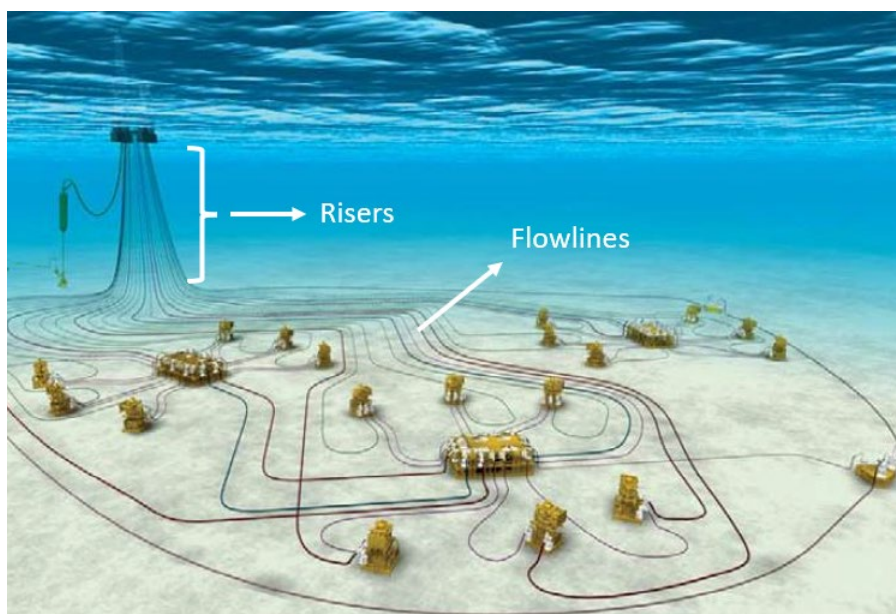


Figura 22 - Arranjo Submarino. Modificado (Petrobras)

3.3.5 Umbilicais

Assim como os dutos flexíveis, os umbilicais são formados por camadas poliméricas e arames de aço, que envolvem e protegem a estrutura interna contendo cabos elétricos, cabos ópticos, mangueiras termoplásticas e tubos de aço, conforme indicado na Figura 23.



Figura 23 - Umbilical Eletro-hidráulico (MFX)

Este tipo de duto é utilizado para o controle dos equipamentos submarinos e injeção de fluidos específicos em poços. Isso ocorre através da condução de fluidos hidráulicos, produtos químicos, energia elétrica e sinais de controle, da unidade de superfície até os equipamentos posicionados no leito marinho, permitindo assim o controle e monitoramento dos poços, intervenções simples, injeção de produtos químicos nos reservatórios, e alimentação elétrica do sistema submarino.

A quantidade de vias comunicantes que compõem o umbilical depende da complexidade do sistema submarino, e o comprimento desses tubos é determinado pela distância entre os equipamentos submarinos e a unidade de superfície. Os umbilicais são conectados aos equipamentos submarinos por meio de conectores projetados para operar imersos em água do mar, por meio de caixas de junção submarinas, ou através de interfaces específicas ao equipamento, e dessa forma, quando conectado, distribuem as funções para os respectivos equipamentos submarinos comandados.

Ainda, devido as complexidades envolvidas no projeto e fabricação de dutos umbilicais, especificidades do seu manuseio e requisitos operacionais, os custos de implementação desse componente são significativos no que diz respeito ao sistema submarino. Cabe destacar que seu fornecimento costuma se dar em trechos longos, de forma a reduzir a quantidade de conexões intermediárias entre a unidade de superfície e o equipamento a ser operado.

Em sua grande maioria, os dutos umbilicais são classificados de acordo com as funções que operam (transmitem/comunicam), sendo hidráulico, elétrico, eletro-hidráulico, ou opto eletro-hidráulico, dos quais o umbilical eletro-hidráulico, de abreviação UEH, é o mais utilizado atualmente em campos submarinos.

3.3.6 ROVs

Os equipamentos submarinos operam, em vezes, sob profundidades onde o corpo humano não consegue acessar, mesmo com os aparatos específicos à atividade de mergulho, dada essa impossibilidade de acesso humano, veículos remotamente operados são envolvidos nesses tipos de operação. Os ROVs – *Remotely Operated Vehicle* (veículos operados remotamente) são ferramentas subaquáticas controlados remotamente que podem ser utilizados para operações de observações e intervenções nos equipamentos submarinos em campo. Sua aplicação consiste basicamente nas inspeções de válvulas, tubos e equipamentos, mapeamento e observação a vida marinha, monitoramento durante lançamento e instalação de componentes, e serviços de intervenções em equipamentos submarinos.

Esses veículos operados remotamente possuem uma série de ferramentas e acessórios de atuação elétrica ou hidráulica, sensores, dois manipuladores com garras em suas extremidades, câmeras de alta resolução, iluminação de alta potência, turbinas para deslocamento, flutuadores e outros, conforme observa-se na Figura 24.



Figura 24 – ROV (Oceaneering)

Cabe destacar que os modelos tradicionais de ROV permanecem conectados a embarcação durante toda a operação, através de cabos multifunções, similares aos umbilicais, para a comunicação, e alimentação elétrica/hidráulica.

3.4 Unidade de Superfície

Assim como os equipamentos descritos acima, para as unidades de superfície não é diferente. Estas podem se apresentar em diversas configurações, tendo variações da classificação quanto ao tipo de estrutura, ancoragem, flutuabilidade, sistema de posicionamento, capacidade de estocagem de produção, capacidade de processamento de fluidos, tipos de serviços desempenhados, entre outros. De forma básica e genérica, definimos as unidades de superfície como embarcações para onde o óleo extraído dos reservatórios escoar, e que possibilitam o controle e direcionamento do fluxo de produção através da operação dos equipamentos submarinos e de poço instalados no campo.

Também é muito comum que as unidades de superfície disponham em sua estrutura de sistemas para o processamento primário do fluido produzido, possibilitando a separação do óleo, gás, água e sólidos indesejados, seguidos pela preparação e direcionamento para a utilização local de parte desses elementos como gás e água, e outra parte para exportação e/ou estocagem na própria UEP – Unidade Estacionária de Produção. Destaca-se que algumas unidades de superfície possuem a capacidade de reinjetar os fluidos produzidos de forma indesejável como água e gás (em algumas condições), isso ocorrer através de poços específicos à esse tipo de serviço, tendo todo um sistema dedicado à esses.

As unidades de superfície são denominadas de forma genérica pelo mercado como UEP, e possuem três diferentes configurações gerais, fixa, semi submersível e FPSO.

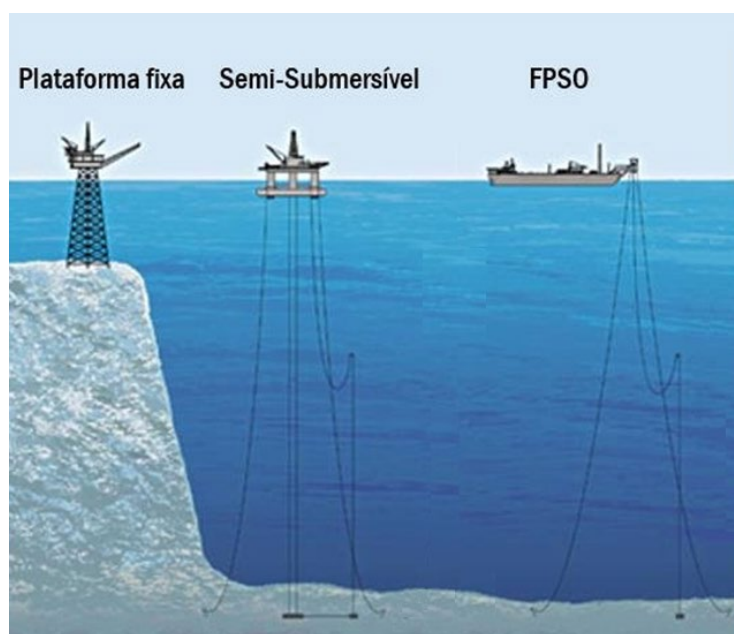


Figura 25 - Unidades de Superfície. Modificada (Petrobras 2010)

As UEPs do tipo fixa se caracterizam por estarem posicionadas sobre uma estrutura rígida, apoiada no solo marinho. Estas são implementadas em águas consideradas como rasas, em profundidades de até 300m, possibilitam intervenção no poço sem necessidade de barcos especiais, e escoam a produção por meio de oleodutos, o que é facilitado devido sua localização ser próxima ao continente.



Figura 26 - Plataforma Fixa (PUC-Rio)

As unidades do tipo semi submersível, como o próprio nome diz, são embarcações flutuantes em configuração de catamaran, conforme observa-se na Figura 27, que não necessitam de ancoragem para se manterem na posição de interesse, próximo ao poço. Essa configuração traz a flexibilidade no que se refere ao posicionamento, visto que permite a movimentação para diferentes lugares (proximos ou distantes) conforme necessidade de suas operadoras, sendo necessário realizar apenas a desancoragem e desconexão do sistema de produção. Sua aplicação se dá em um grande range de lamina d'água, indo de 100m a profundidades de até 2.000m ou mais. Ainda, para executar intervenção em poços é necessário o emprego de embarcações especiais à essa finalidade.



Figura 27 - Plataforma Semi Submersível (Transocean)

As UEPs do tipo FPSO – *Floating, Production, Storage and Offloading* (navios de produção, armazenamento e escoamento) são embarcações em configuração de navios, conforme observa-se na Figura 28, ancoradas através de estacas no leito marinho. Geralmente aplicados em campos de águas profundas e com altos potenciais de produção, este tipo de UEP se caracteriza por ser capaz de processar e estocar volumes significativos de óleo.



Figura 28 – FPSO (Moderc)

Cabe destacar que independentemente do tipo ou configuração da unidade de superfície, estas apresentam desafios comuns devido à natureza das operações as quais estão submetidas, sendo estas empregadas em alto mar, com recursos de espaço e carga limitados, e de difícil acesso. Todos esses fatores atrelados a operação de exploração e produção de óleo e gás torna qualquer capacidade extra que a unidade de superfície possa dispor, como sendo de extremo valor.

3.4.1 HPU

HPU - *Hydraulic Power Unit* (Unidade de Potência Hidráulica) são equipamentos que consistem em um sistema automatizado de pressurização formado por motores, bombas hidráulicas, reservatório, válvulas, acumuladores e sensores. Estes operam de forma a aplicar pressão hidráulica necessária para acionar os equipamentos submarinos contidos no leito.

O acionamento de todos os equipamentos submarinos de atuação hidráulica comandados pela UEP é realizado através de uma ou mais HPUs, e para que isso ocorra, quilômetros de cabos umbilicais contendo diversas vias hidráulicas comunicam a respectiva HPU posicionada na unidade de superfície com o equipamento submarino posicionado no leito, sendo a principal função da unidade de potência hidráulica manter as linhas de controle dos equipamentos submarinos pressurizadas e alimentadas de fluido de operação. Dessa forma os equipamentos são operados quando comandados.

Dada as proporções da infraestrutura submarina, o elevado número de equipamentos contendo válvulas de atuação hidráulica, e as distâncias entre estes equipamentos e a unidade de superfície, que geram perdas, uma HPU capaz de atender a esses requisitos se apresenta como um equipamento de grande porte, conforme observado na Figura 29, e conseqüentemente, alto consumo de potência elétrica (convertida em potência hidráulica).

Ainda, devido sua importância na cadeia de exploração e produção de óleo e gás, e tendo em vista os impactos gerados por uma falha ou parada desse equipamento, torna-se necessário um sistema redundante para este, de forma a evitar paradas em caso de falhas ou interrupções para manutenção. Cabe destacar que todo esse conjunto ocupa um espaço significativo nas instalações da UEP.



Figura 29 – HPU (Oceanengineering)

Capítulo 4

4 Sistema de Controle

Conforme descrito no capítulo 3 do presente trabalho, o sistema de exploração e produção é composto por diversos equipamentos que em conjunto operam de forma a possibilitar a extração de óleo e gás de reservatórios localizados em campos submarinos. Equipamentos como ANM, Manifold, PLET, PLEM e SSIV, se apresentam conectados entre si através de dutos flexíveis, e operam posicionados no leito submarino, desempenhando a função de controle de abertura e fechamento (ANM), direcionamento e derivação (Manifold, PLET e PLEM), ou de barreira de segurança (SSIV).

Esses equipamentos citados acima possuem uma particularidade em comum. Todos contêm em sua estrutura pelo menos uma válvula submarina de operação remota. Essas são responsáveis por desempenhar as funções dos respectivos equipamentos quando comandadas a partir da unidade de superfície, que direciona potência hidráulica advinda da HPU, para os umbilicais, que comunicam com o equipamento submarino, para operação.

No mercado de óleo e gás existem uma infinidade de modelos de válvulas que são utilizadas em equipamentos submarinos. A depender do equipamento de aplicação, sua funcionalidade pode variar de três modos no geral, sendo para abertura e fechamento de fluxo (controle), direcionamento de fluxo, ou sistema de segurança.

Tendo em vista a natureza da aplicação e o ambiente sobre o qual estas operam, as válvulas devem possuir capacidade de vedar tanto líquido quanto gás, operar em pressões elevadas, suportar elevados níveis de escoamento multifásico (águas, gás, óleo), e resistir a erosão devido presença de detritos advindos das formações (reservatórios), que são carregados pelo escoamento do fluido produzido (óleo ou gás), e passam através dos respectivos equipamentos submarinos. Esses aspectos tornam a configuração para cada situação complexa e específica, havendo variações que se diferenciam na forma de abertura e fechamento do fluxo, sistema de atuação, área e condição de aplicação, funcionalidade e outros.

4.1 Premissas

O mercado de óleo e gás é grande e complexo. Sendo operado em nível mundial, ocorre nos seis continentes e possui particularidades específicas para cada região, seja por requisitos físicos como ambiente de extração, tipo do óleo, volume, localização, ou por fatores tecnológicos, comerciais e até culturais. Dentre as milhares de combinações praticadas ao redor

do mundo para a atividade de extração de óleo e gás, o presente trabalho foca e discorre baseando-se em uma configuração tradicional da indústria que atende a exploração em bacias submarinas, caracterizada como *off-shore*.

Ainda, o complexo mercado de óleo e gás apresenta uma característica de dualidade antagônica, onde ao mesmo tempo em que destaca-se na implementação de equipamentos com alto nível tecnológico, esbarra nas dificuldades de substituição de componentes tradicionais e que encontram-se em operação, seja pelos elevados custos operacionais envolvidos ou por consolidação de conceitos e padrões que geram resistência às mudanças. Isso resulta em um amplo e complexo portfólio de ativos instalados em operação para exploração e produção, com alto contraste tecnológico, tanto no que se refere a equipamentos quanto em conceitos de funcionamento.

As configurações e mecanismos apresentados no decorrer do trabalho são baseadas nas pesquisas feitas pelo presente aluno, não tendo sido utilizadas informações confidenciais provenientes de empresas do mercado de óleo e gás e nem de seus respectivos fornecedores. Devido aos altos valores de investimentos e ao alto nível de competitividade entre companhias do setor, a difusão de informações específicas não ocorre de maneira ampla e espontânea, e nem sobre solicitação para estudos sem fins lucrativos, sendo necessário generalizar alguns conhecimentos e conceitos.

4.2 Principais Tipos de Válvulas

São dois os principais tipos de válvulas mais utilizadas em sistemas de exploração e produção de óleo e gás para controle de abertura e fechamento de linhas de fluxo no ambiente submarino, válvulas de gaveta e válvulas esfera.

As válvulas do tipo gaveta, representada na Figura 30, são caracterizadas por ter em sua dinâmica de atuação o deslocamento do elemento bloqueador de forma perpendicular ao sentido de escoamento da válvula, quando acionada para abertura, o elemento bloqueador se desloca de forma a alinhar a passagem contida em seu corpo com a passagem da válvula, e o fechamento ocorre de forma contrária.

Em função do deslocamento vertical do elemento bloqueador, esse tipo de válvula apresenta um tamanho considerável quando aplicada em linhas de grandes dimensões, o que resulta em equipamentos ainda maiores, a depender de sua aplicação e configuração estabelecida em projeto.



Figura 30 - Válvula Gaveta (P&P – 2016)

Já as válvulas do tipo esfera, representada na Figura 31, são caracterizadas por ter em sua dinâmica de atuação a rotação de uma esfera (elemento bloqueador) no entrono do próprio eixo. Nessa atuação não há o deslocamento do elemento bloqueador em relação ao corpo da válvula, a esfera rotaciona de forma a alinhar a passagem contida em seu interior com a passagem da válvula, se mantendo em contato com a vedação, e permitindo o escoamento.

Esse tipo de válvula possui vida útil geralmente mais curta, porém é largamente aplicada em linhas de grandes dimensões devido a forma de atuação, sem deslocamento do elemento bloqueador em relação ao corpo da válvula, o que impacta positivamente nas dimensões do equipamento se comparadas com a válvula de gaveta.

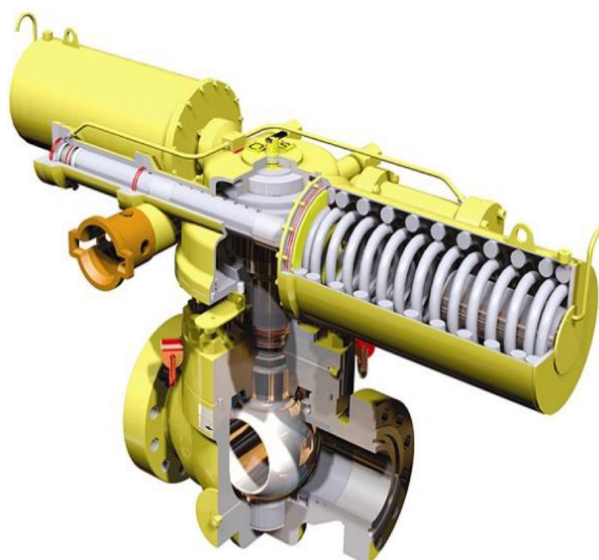


Figura 31 - Válvula Esfera (P&P – 2016)

Ambos os tipos de válvulas possuem uma característica comum entre si que justifica sua larga aplicação no mercado de óleo e gás, a passagem direta quando em posição aberta. Essa característica é importante tendo em vista os elevados níveis de volumes de fluxo multifásico e com detritos que escoam através destas. A passagem direta sem deslocamento ou modificação no sentido do fluxo evita a erosão em componentes críticos expostos a corrente e reduz as perdas de cargas, fatores que são de grande relevância para essa indústria, visto que trabalham no sentido de evitar a degradação (desgaste) dos componentes, e aumentar os níveis de produção, respectivamente.

4.3 Sistema de Atuação das Válvulas

As válvulas presentes em equipamentos submarinos apresentam um sistema de atuação diferente dos encontrados na superfície, e classificados como convencionais a exemplo de volantes, registros, solenoides e outros. Devidos as circunstâncias do ambiente de aplicação, e a necessidade de alterar a posição durante a operação, as válvulas instaladas em ambiente submarino devem possibilitar sua operação de forma remota, dada as dificuldades de acessar a região no qual encontram-se, e a necessidade da rápida resposta quando acionadas, um requisito da indústria de óleo e gás.

A atuação remota dessas válvulas ocorre de duas maneiras, hidraulicamente, a partir de tubos que interligam o respectivo equipamento a uma unidade de superfície, ou por veículos operados remotamente (ROV), e de forma manual através de torque mecânico ou pressão hidráulica, (ambos aplicados a partir do ROV).

A atuação hidráulica da forma mais básica consiste na pressurização de um tubo condutor, geralmente em forma de umbilical, que interliga fisicamente a unidade de superfície ao equipamento submarino. Esta pressão hidráulica, oriunda da HPU contida na unidade de superfície, quando aplicada ao atuador da válvula age de forma a executar a abertura e fechamento do referido equipamento pelo princípio de força resultante (pressão x área), sendo este denominado como sistema hidráulico direto. Abaixo, na Figura 32, é apresentado o esquemático de atuação de uma SSIV – *Subsurface Isolation Valve* (válvula submarina de isolamento), do tipo gaveta e de atuação hidráulica direta.

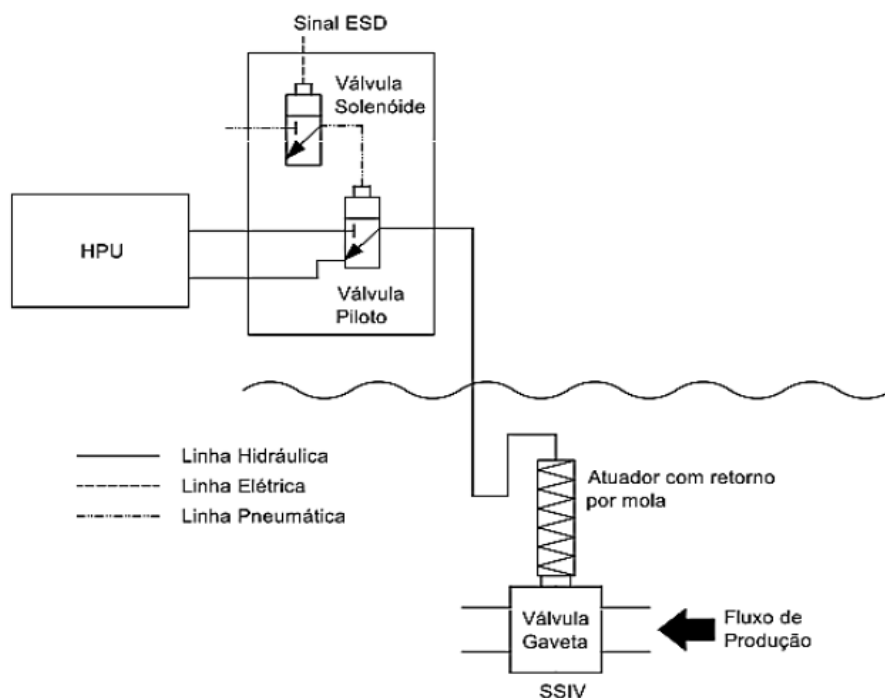


Figura 32 - Diagrama de Atuação da SSI (Grechi P. H. e Alves A. L. R. – 2016)

Conforme indicado no diagrama acima, nessa configuração se faz necessário um tubo condutor para cada válvula contida no equipamento submarino, a considerar que determinados equipamentos como ANM contemplam mais que seis válvulas em seu conjunto, esse sistema acaba por exigir uma infraestrutura com maior número de tubos condutores, o que torna a operação mais complexa, mais cara e mais suscetível a falhas.

Atualmente, para equipamentos submarinos com um número maior de válvulas é comum encontrar a aplicação de sistemas multiplexados. A multiplexação consiste em derivar a potência hidráulica advinda de um único tubo condutor para atuação de duas ou mais válvulas contidas neste, por meio da operação de um SCM – *Subsea Control Module* (módulo de controle submarino). A lógica de funcionamento da multiplexação é apresentada na Figura 33.

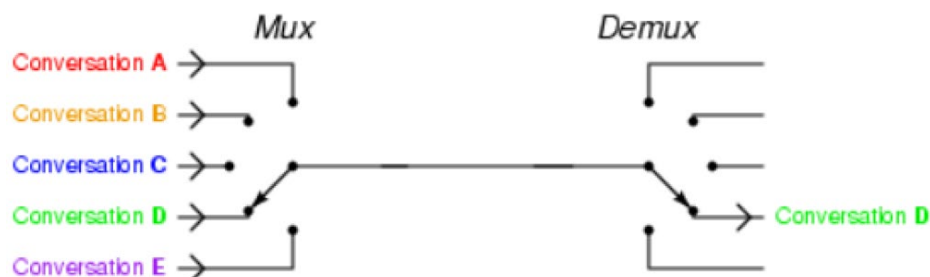


Figura 33 – Esquemático do Sistema Multiplexado (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

O SCM é um recipiente (vaso de pressão) com um sistema de controle e automação eletro-hidráulico embarcado, conforme observado na Figura 34. Este possibilita a derivação

(multiplexação) da pressão hidráulica advinda da unidade de superfície por um único tubo condutor, para controlar o número de válvulas para o qual o sistema foi projetado (dois ou mais). Ainda, na maioria dos equipamentos que contam com um sistema de multiplexação, o SCM é posicionado na estrutura do próprio equipamento submarino, de forma a se apresentar como um componente deste.

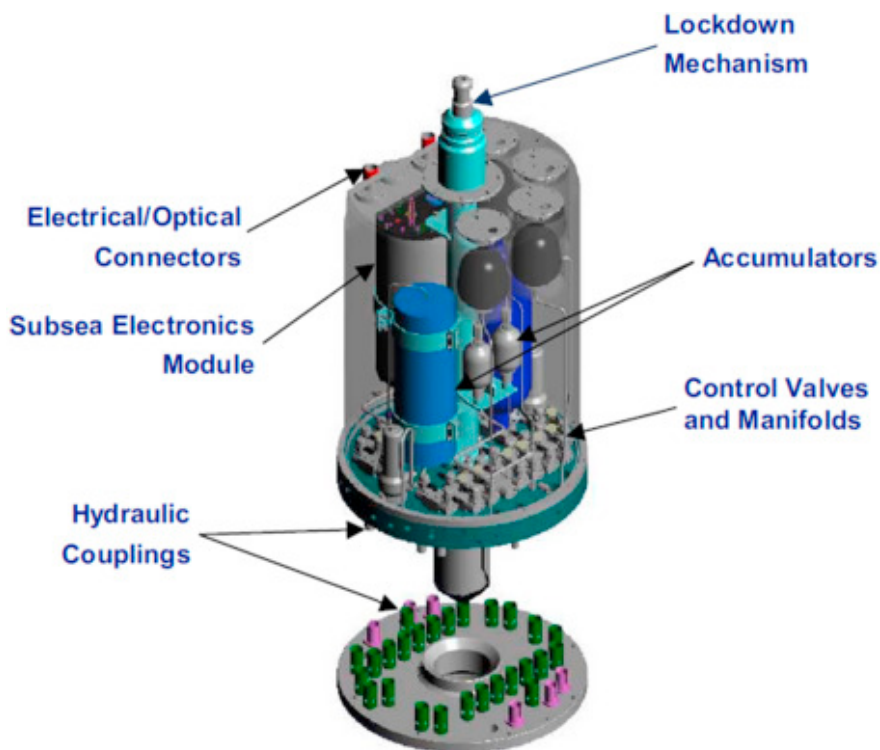


Figura 34 - Representação SCM (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

O Quadro 5 apresenta a descrição dos componentes indicados na Figura 34.

Designação	Descrição
<i>Electrical/Optical Connectors</i>	Conectores óticos e elétricos responsáveis pela comunicação e potência elétrica.
<i>Lockdown Mechanism</i>	Sistema mecânico de travamento.
<i>Accumulators</i>	Dispositivos para acúmulo de pressão.
<i>Control Valves and Manifolds</i>	Válvulas de controle e manifoldos, que desempenham o direcionamento da pressão.
<i>Hydraulic Couplings</i>	Conectores hidráulicos para ambiente submarino.
<i>Subsea Electronics Module</i>	Módulo de eletrônica, responsável pela atuação das válvulas de controle, manifoldos e acumuladores.

Quadro 5 – Referencias da Figura 34

A Figura 35 apresenta de forma detalhada a lógica de atuação do sistema multiplexado. Nesta, encontram-se na unidade de superfície a “estação de controle principal” responsável pelo envio dos sinais de comando, e as unidades de potência elétrica e potência hidráulica responsáveis por prover suas respectivas energias de maneira constante. A unidade de superfície é conectada ao SCM contido no equipamento submarino através de um duto do tipo umbilical possuindo ao menos uma via de controle, uma via de potência elétrica e uma via de potência hidráulica, de forma a comunicar as três funções.

No SCM, a potência elétrica e os sinais de controle são direcionados ao módulo de eletrônica submarina, sendo este responsável por receber e processar os comandos, assim como comandar e prover alimentação para os demais componentes eletrônicos (sensores) e de atuação elétrica presente no mesmo. Dessa forma, é executada a comutação (controle de posicionamento) das DCV – *Directional Control Valves* (válvulas de controle direcionais), de atuação elétrica, que por sua vez, fazem a comutação dos canais de pressão, direcionando a potência hidráulica do acumulador até a válvula que se deseja operar.

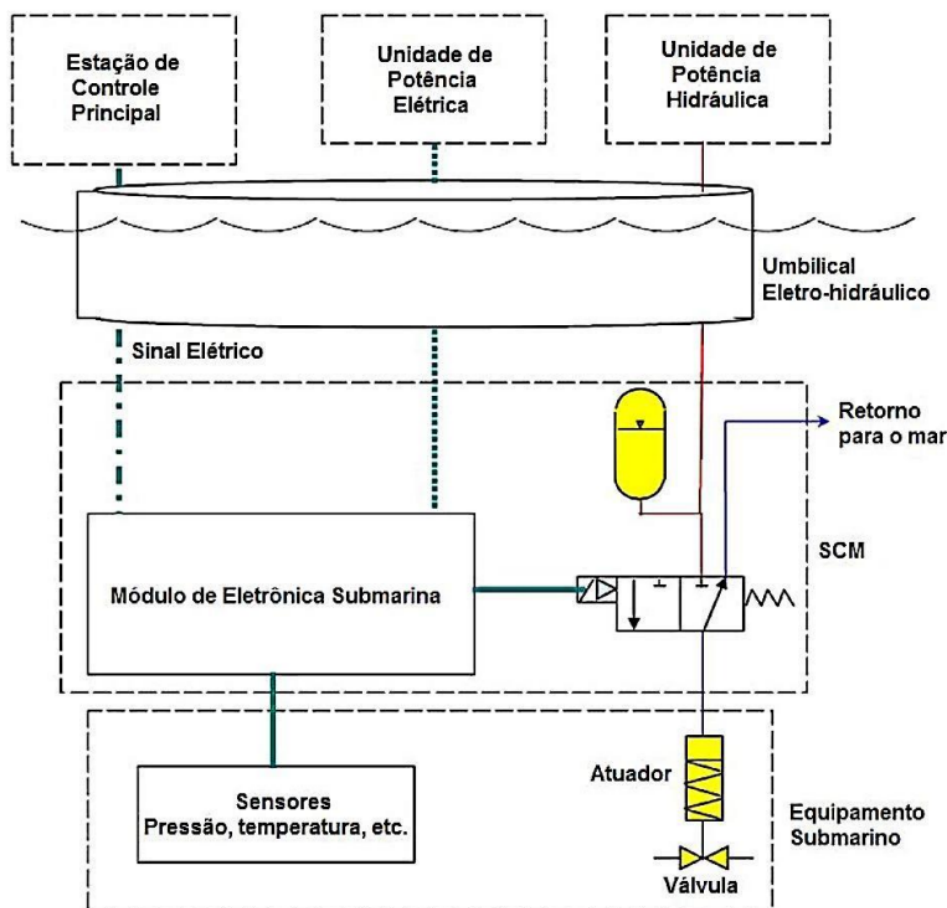


Figura 35 - Diagrama do Sistema Multiplexado (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

A potência hidráulica advinda da unidade de superfície, através do umbilical, é direcionada ao acumulador hidráulico ao chegar no SCM, dessa forma, é garantido que esse sistema tenha a capacidade de injetar determinado volume de fluido na linha de operação da válvula sem que haja decaimento da pressão, permitindo a operação da válvula desejada de forma proficiente, sem interferências em função da pressurização de fluidos por longos comprimentos de tubos.

Como principais vantagens desse sistema temos o curto tempo de resposta para operar a(s) válvula(s) do equipamento submarino uma vez que o comando (sinal) é transmitido de forma elétrica ou ótica entre a unidade de superfície e o equipamento submarino, é necessário apenas uma única via para cada função (comunicação, potência elétrica e potência hidráulica), cabendo destacar que em algumas aplicações a comunicação e potência elétrica são compartilham a mesma via (um baco elétrico). Como desvantagem indica-se a existência de uma eletrônica embarcada, o que eleva a complexidade do sistema, exige mão de obra especializada e gera um custo superior para o equipamento.

Ainda, outra forma de operar as válvulas em equipamentos submarinos é através de ROV – *Remotely Operated Vehicle* (veículos operados remotamente), podendo ser de forma hidráulica ou mecânica. Para essa configuração o equipamento submarino deve possuir um painel preparado em sua estrutura contendo pórticos específicos para o tipo de operação a ser desempenhada, a partir de potência hidráulica ou mecânica, conforme indicado na Figura 36.

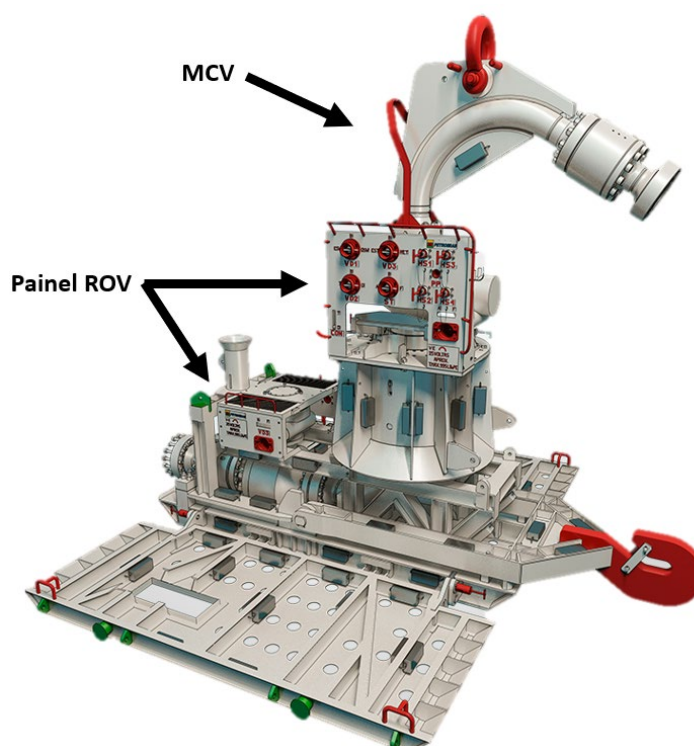


Figura 36 - PLET com Destaque no Painel ROV. Modificada (Webnordeste)

Para as operações de atuação de válvulas em equipamentos submarinos por pressão hidráulica a partir de ROV, se faz necessário a utilização de ferramentas especiais do tipo “*Stabs*”. Estas desempenham a interface entre o equipamento submarino e o ROV. Nesse tipo de operação o sistema hidráulico do ROV é conectado a ferramenta (“*Stabs*”) através de mangueiras HCR – *High Collapse Resistance* (resistente ao colapso), e a ferramenta é inserida no pórtico (receptáculo) da respectiva válvula a ser atuada, no painel do equipamento submarino, de forma a constituir um canal físico de comunicação entre ROV e válvula, assim o ROV pressuriza a válvula a partir do seu sistema e executa a abertura ou fechamento da mesma.

A Figura 37 refere-se a um *stab* com duas vias hidráulicas, montado (conectado) ao respectivo pórtico contido no equipamento submarino que se deseja atuar, estabelecendo dessa forma a comunicação hidráulica entre o sistema do ROV e o referido equipamento submarino.

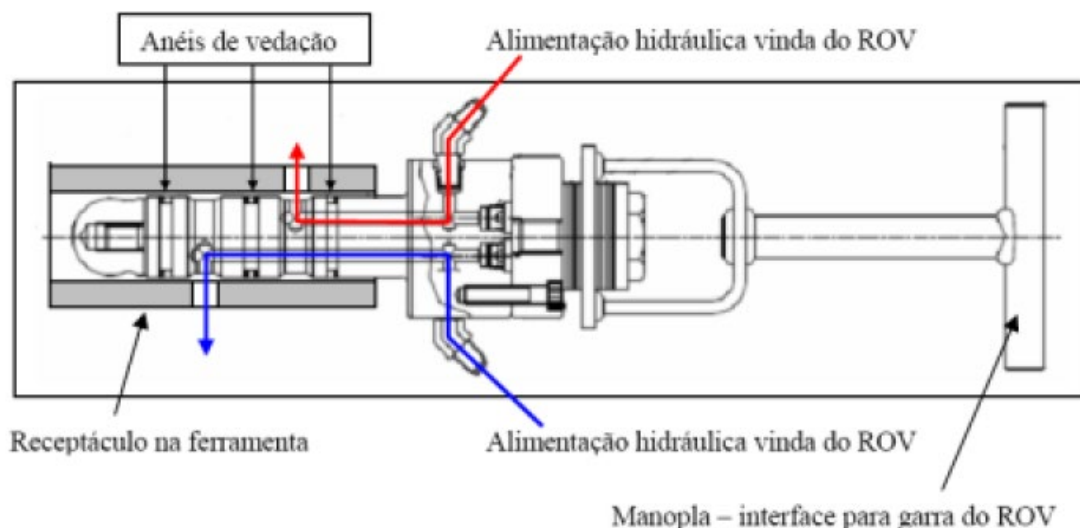


Figura 37 - *Stab* Hidráulico de Duas Vias (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

Já para atuação mecânica de válvulas em equipamentos submarinos a partir de ROV se faz necessária a utilização de uma *torquetool* (ferramenta de torque). Representada na Figura 38, essa funciona a partir da aplicação de um torque específico em um perfil contido no pórtico da respectiva válvula, no painel do equipamento submarino. Esse torque promove a rotação do perfil, que de acordo com o mecanismo, resulta em deslocamento e consequente posicionamento da válvula que se deseja operar.



Figura 38 – Torquetool (Oceanering)

Cabe destacar que existem diversos modelos de *torquetool* no mercado, podendo variar em função da tecnologia embarcada, método de acionamento, com contador de voltas ou não, ou de acordo com o perfil da ferramenta.

4.4 Mecanismo de Atuação das Válvulas

De forma simplificada, os mecanismos de atuação das válvulas contidas em equipamentos submarinos possuem uma das seguintes configurações:

- *Fail Safe Close*: Fechamento em caso de falha.
- *Fail Safe Open*: Abertura em caso de falha.
- *Fail as is*: Manutenção da posição em caso de falha.

O mecanismo *fail safe close* é o mais empregado na indústria de óleo e gás, este é caracterizado como “normalmente fechado”, ou seja, quando cessada a energização da linha (em forma de potência hidráulica nessa aplicação) por parte do sistema de controle, sendo em decorrência de acidente (sinistro), falha ou comandado, a válvula deve se posicionar de forma automática na posição fechada, bloqueando a passagem de fluxo e cessando o escoamento do fluido através desta. Esse comportamento é de extrema importância pois possibilita a classificação da respectiva válvula como barreira/elemento de segurança, o que em combinação com os demais componentes do sistema de exploração e produção de óleo e gás colabora com a confiabilidade e integridade da operação como um todo.

Válvulas de controle de abertura e fechamento da ANM como *Master*, *Wing* e *Swab* apresentam esse tipo de comportamento, visto que são consideradas como barreira de segurança entre o poço e o ambiente submarino. Nesses casos, quando há uma falha no sistema de controle é de extrema importância que os componentes atuem conforme projetado e promovam o fechamento seguro destas, mantendo o controle do fluxo de fluido produzido através do fechamento, de forma a evitar a produção descontrolada e/ou vazamento de fluidos para o ambiente externo. Esse tipo de comportamento da válvula se dá em função do sistema de atuação da mesma.

O mecanismo de atuação é constituído por uma câmara hidráulica de atuação, que quando pressurizada age sobre uma determinada área resultando em uma força horizontal equivalente (princípio de força = pressão x área), que acarreta no consequente deslocamento dos componentes no sentido de abertura da válvula. O deslocamento dos componentes do atuador no sentido de abertura da válvula age de forma a comprimir uma mola presente no próprio atuador. Essa mola constitui o dito mecanismo *fail-safe-close*, sendo esta a responsável pelo movimento de retorno do mecanismo de abertura, promovendo assim o fechamento da válvula. A mola trabalha de forma a acumular energia durante os deslocamentos de abertura da válvula, sendo comprimida, e ao cessar a pressão hidráulica no atuador, a mola trabalha liberando a energia (relaxa) e voltando a posição inicial, agindo no sentido de fechamento da válvula, sem necessidade de energias externas atuando para o fechamento. Esse comportamento está representado na Figura 39, onde é indicado em corte as duas posições de atuação da válvula, aberta (“posição acionada”) e fechada (“posição fail safe”).

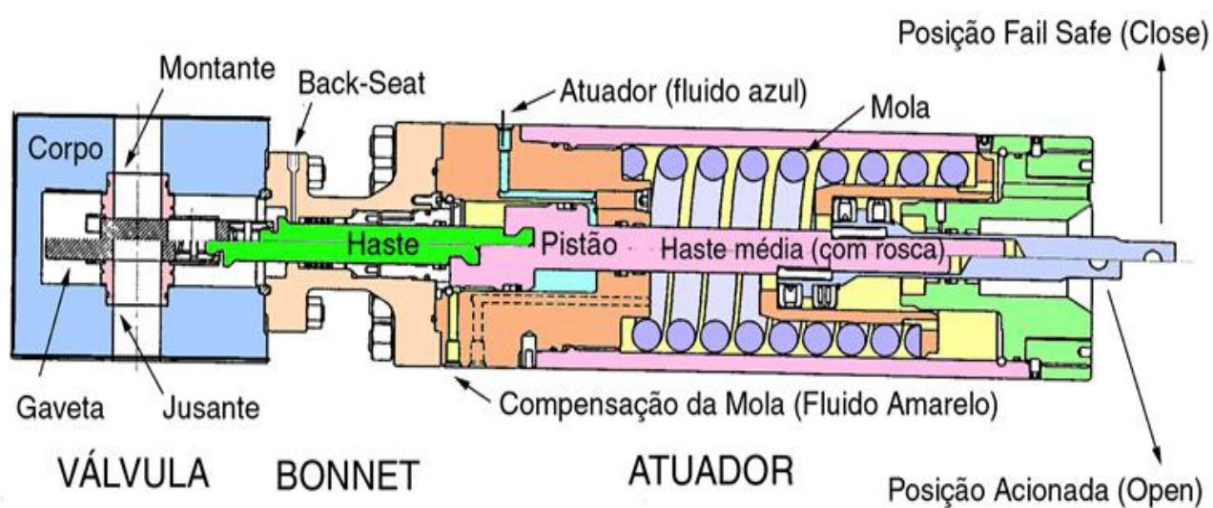


Figura 39 - Mecanismo de Atuação Fail Safe Close (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

Dado o ambiente submarino de operação e a respectiva pressão deste, o mecanismo de atuação conta com um sistema de equalização de pressão que tem como objetivo igualar as pressões no atuador, para que não haja diferencial de pressão, e os esforços para executar a abertura sejam apenas em decorrência dos atritos envolvidos no deslocamento de abertura e consequente compressão da mola de retorno, conforme representado na Figura 40.

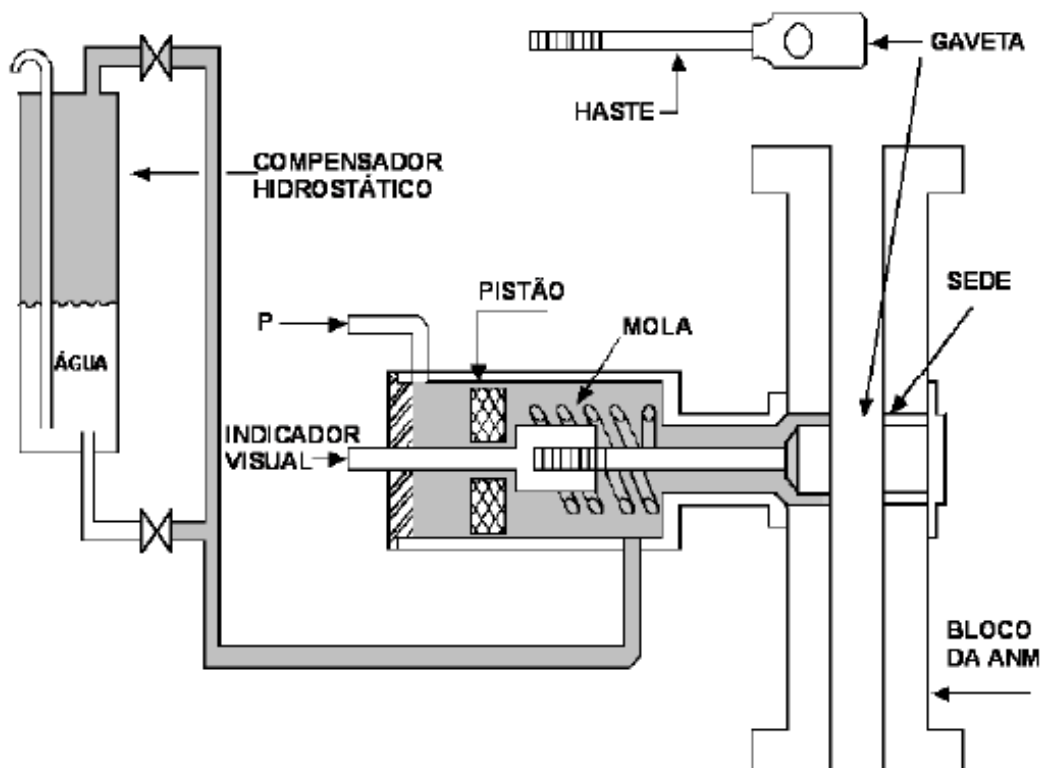


Figura 40 - Sistema de Atuação Simplificado (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

Conforme representado na figura acima, a pressão ambiente age no “compensador hidrostático” de forma a comprimir o fluido contido em seu interior. O fluido contido nesse “compensador hidrostático” tende a migrar para a região de retorno da câmara hidráulica de atuação, onde encontra-se a “mola”, promovendo assim a compensação da pressão ambiente. Quando comandada a partir da unidade de superfície, a pressão hidráulica proveniente da mesma flui através do umbilical até o equipamento submarino e age na região de abertura da câmara hidráulica, oposta a “mola”, promovendo a abertura a partir do conceito da pressão “P” agindo sobre a área superficial do “pistão” e comprimindo “mola”. Dessa forma, a “haste” se desloca no sentido de abertura, promovendo o alinhamento da passagem contida no “bloco da ANM” com a passagem contida na “gaveta”, possibilitando que o escoamento ocorra.

O fechamento se dá a partir do momento em que a pressão “P” é cessada (interrompida), dessa forma não há mais força resultante comprimindo a mola, isso faz com que esta relaxe,

promovendo o deslocamento da “haste” e conseqüente desalinhamento entre as passagens do bloco da ANM com a passagem contida na “gaveta”. A “sede” consiste em um componente de vedação, que não permite o vazamento através desta. O indicador visual consiste em um pino interligado a haste, de forma a se deslocar em conjunto com esta, indicando sua posição; sendo posição baixa equivalente a aberto e posição alta equivalente a fechado.

O mecanismo *fail safe open* possui baixa aplicação no mercado de óleo e gás se comparado ao mecanismo *fail safe close*, não sendo muito comum seu emprego em equipamentos submarinos; mas este recurso é interessante para determinadas condições e regimes específicos de trabalho como linhas de alívio e/ou *bypass*, onde não desempenham o papel de barreira de segurança. O mecanismo *fail safe open* é caracterizado como “normalmente aberto”, ou seja, quando cessada a energização da linha (em forma de potência hidráulicas nessa aplicação) por parte do sistema de controle, sendo em decorrência de acidente (sinistro), falha ou comandado, a válvula deve se posicionar de forma automática na condição aberta, permitindo a passagem de fluxo e possibilitando o escoamento do fluido através da linha na qual está instalada.

Pode-se observar como vantagem desse tipo de mecanismo o comportamento de “normalmente aberto”, não sendo necessário intervenção para abertura deste equipamento em caso de falha no sistema de atuação, o que em condições específicas no mercado de óleo e gás é de grande interesse.

Seu funcionamento possui o mesmo princípio e dinâmica de atuação que o mecanismo *fail safe close*, a diferença é que neste a mola age de forma a manter a válvula sempre na posição aberta, inverso do detalhamento explicitado acima para o mecanismo *fail safe close*.

Por fim, um outro mecanismo de atuação conhecido e empregado em válvulas de equipamentos submarinos é o *fail as is*, esse tipo de mecanismo é interessante para aplicações em “estranguladores” que operam na regulagem do controle de fluxo (vazão). Esse tipo de mecanismo possui um arranjo mais simplificado, sem componentes de acúmulo de energia como mola, e se caracteriza por manter a posição na qual se encontra em caso de falha ou desenergização.

Capítulo 5

5 Proposta do Sistema

Conforme evidenciado no presente trabalho, atualmente existe um expressivo portfólio em operação de equipamentos submarinos contendo válvulas atuadas remotamente através de potência hidráulica para controle das atividades de exploração e produção de óleo e gás. Este tipo de atuação requer equipamentos de grande porte instalados em unidades de superfície para a geração de potência hidráulica, e tubos condutores que fazem a comunicação física entre estes e o equipamento submarino, sendo através deles que se direciona, por quilômetros, a potência hidráulica de atuação das válvulas para operação de abrir e fechar. Um exemplo dessa constatação é o evidenciado no item 4.3 deste trabalho, e representado na Figura 41.

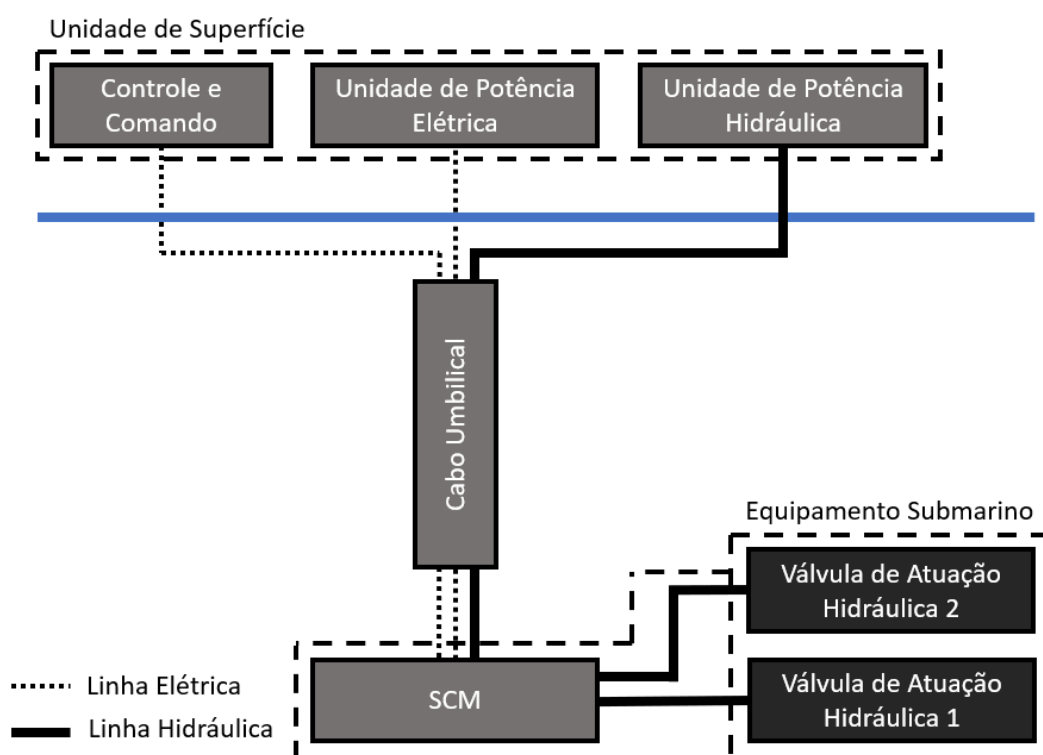


Figura 41 - Esquemático do Sistema de Atuação Tradicional (Autor)

No esquemático representado acima, os sinais de comando, potência hidráulica e potência elétrica são gerados na unidade de superfície, direcionados a um umbilical de três funções que percorre quilômetros até comunicar estes com o equipamento submarino, este último contendo o SCM, responsável por processar e tratar os sinais, direcionado a potência hidráulica para a operação da respectiva válvula.

A geração de potência hidráulica em unidades de superfície é obtida a partir de equipamentos denominados como HPU, conforme descrito no item 3.4.1 deste trabalho, esses

equipamentos possuem grande porte e sua instalação consome espaço e capacidade nas unidades de superfície. Considerando o ambiente, a localização em alto mar, os custos e as restrições de espaços nessas unidades, conforme observado no item 3.4 deste trabalho, qualquer redução de carga e/ou ocupação de espaço possui potencial considerável, visto que possibilita a disponibilização do mesmo para novos recursos, ou torna viável novas unidades de tamanho inferior.

Ainda, as distâncias envolvidas entre as unidades de superfície e os equipamentos submarinos é da ordem de unidade de quilômetros, logo, a transmissão de potência hidráulica a partir de tubos condutores de diâmetros reduzidos (fração de polegadas) contidos no interior de uma mangueira denominada umbilical conforme indicado no item 3.3.5 deste trabalho, gera ineficiência por perdas devido a compressibilidade do próprio fluido de atuação, atritos, e vazamentos, sendo ainda as operações de lançamento (posicionamento) destes umbilicais no leito marinho e conexão com o equipamento, de extrema dificuldade e altamente custoso.

A proposta de um sistema para eletrificação de válvula(s) de atuação hidráulica contida em equipamentos submarinos consiste em possibilitar a atuação destes através de cabo elétrico, conforme indicado na Figura 42, por meio de uma solução (sistema de eletrificação) posicionada próximo ao equipamento submarino que se deseja operar, de forma a não ser necessário a substituição destes equipamentos, podendo os manter em operação.

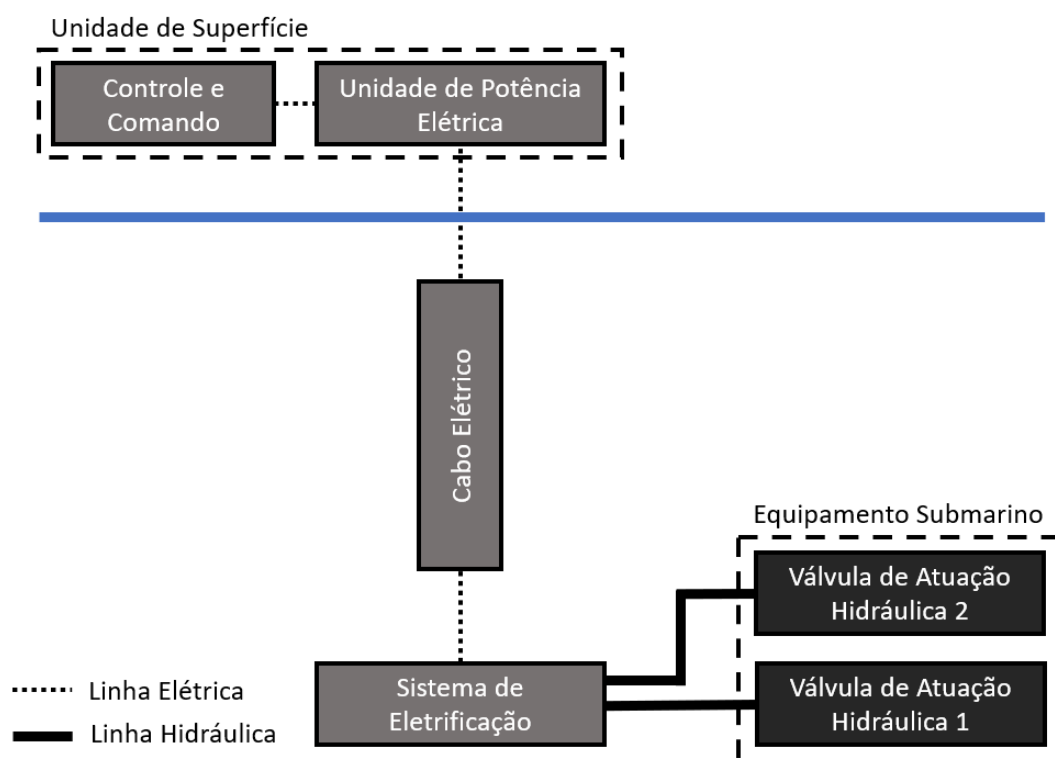


Figura 42 - Esquemático da Proposta de Funcionamento (Autor)

Nessa proposta, a seção de controle e comando junto com a unidade de potência elétrica posicionadas na unidade de superfície se comunicam com o sistema de eletrificação através de um único cabo elétrico. Este recebe o sinal e a potência elétrica, trata e processa, e trabalha de forma a atuar seus mecanismos/subsistemas, conforme indicado no item 5.2 e 5.3 deste trabalho, e promover a atuação do respectivo equipamento submarino através de potência hidráulica gerada neste. Cabe destacar que a linha hidráulica que antes se estendia desde a unidade de superfície é substituída por um trecho com ordem de grandeza de unidades de metros, o que traz ganhos conforme indicado abaixo.

Substituir o sistema de atuação hidráulico contido entre a unidade de superfície e o equipamento submarino por algo integralmente elétrico gera inúmeras vantagens. Ganhos operacionais imediato, no tempo de resposta, possibilidade de monitoramento mais preciso, simplificação de conexões.

O Tempo de resposta reduz significativamente por não haver mais o fator de compressibilidade do fluido (o que é amplificado devido as distancias). O monitoramento mais refinado (preciso) das condições operacionais sobre as quais o equipamento submarino se encontra é possibilitado a partir das curvas de assinatura de consumo de potência. Já a simplificação das conexões entre equipamentos facilita as operações de comissionamento, visto que o posicionamento de linhas integralmente elétricas para comunicação entre a unidade de superfície e o equipamento submarino a ser operado não apresenta o mesmo nível de complexidade e restrições operacionais de comissionamento, se comparados aos demais tipos de linhas que conduzam fluidos.

Destaca-se também os ganhos econômicos que a substituição do sistema de atuação hidráulico contido entre a unidade de superfície e o equipamento submarino por algo integralmente elétrico gera, uma vez se reduz as perdas conforme mencionado acima, resultando em menor consumo de potência, simplificação do cabo de comunicação, que passa a ser exclusivamente elétrico (menor custo), substituição da HPU por unidades de potência elétricas, mais simples, compactas e eficientes, o que também reduz a ocupação de espaço na unidade de superfície.

5.1 Parâmetros Operacionais

Conforme indicado no item “4.1 – Premissas” deste trabalho, não há uma condição única que satisfaça e/ou represente de forma global o que é encontrado no mercado de óleo e gás,

existem diversos ambientes de aplicação, onde cada reservatório possui sua particularidade no que diz respeito a pressão, tipo de óleo, formação e outros.

Dito isso, para o presente trabalho será considerado um ambiente generalizado do *off-shore* brasileiro, com pressão ambiente equivalente a 2.500m de profundidade, pressão de operação das válvulas de equipamentos submarino de 3.000psi e volume de óleo para mudança de posição completa de 2l. Essas condições atende a grande maioria dos campos marítimos em território nacional.

A tabela 1 indica os parâmetros considerados.

Parâmetro	Valor
Profundidade de Operação (LDA)	2500 [m]
Pressão da linha de alta	5000 [psi]
Volume da Câmara de Atuação	2 [l]

Tabela 1 - Parâmetros Operacionais

5.2 Conceito de Funcionamento

A proposta do sistema para eletrificação de válvulas hidráulicas contidas em equipamentos submarinos consiste em combinar num mesmo equipamento os seguintes componentes:

- “Atuador Eletro-Hidráulico”, sendo este responsável por gerar a potência hidráulica necessária à atuação;
- “Válvulas Solenoides” dos tipos normalmente fechada e normalmente aberta, para fazer o controle e direcionamento da potência hidráulica de atuação;
- “Acumulador Hidráulico” para possibilitar um circuito de acionamento fechado e o comportamento *fail safe*;
- “Eletrônica de Potência e Controle” responsável por controlar e alimentar o referido equipamento.

Destaca-se que está sendo considerado para a presente descrição a configuração mais simplificada do sistema, que considera o equipamento submarino com apenas uma única válvula de atuação hidráulica (“Válvula Equipamento Submarino”), conforme observa-se no diagrama de blocos representado na Figura 43, abaixo. Ainda, este não é um limitante para o

referido sistema, podendo ser adaptado e/ou projetado para atuação de um número maior de válvulas.

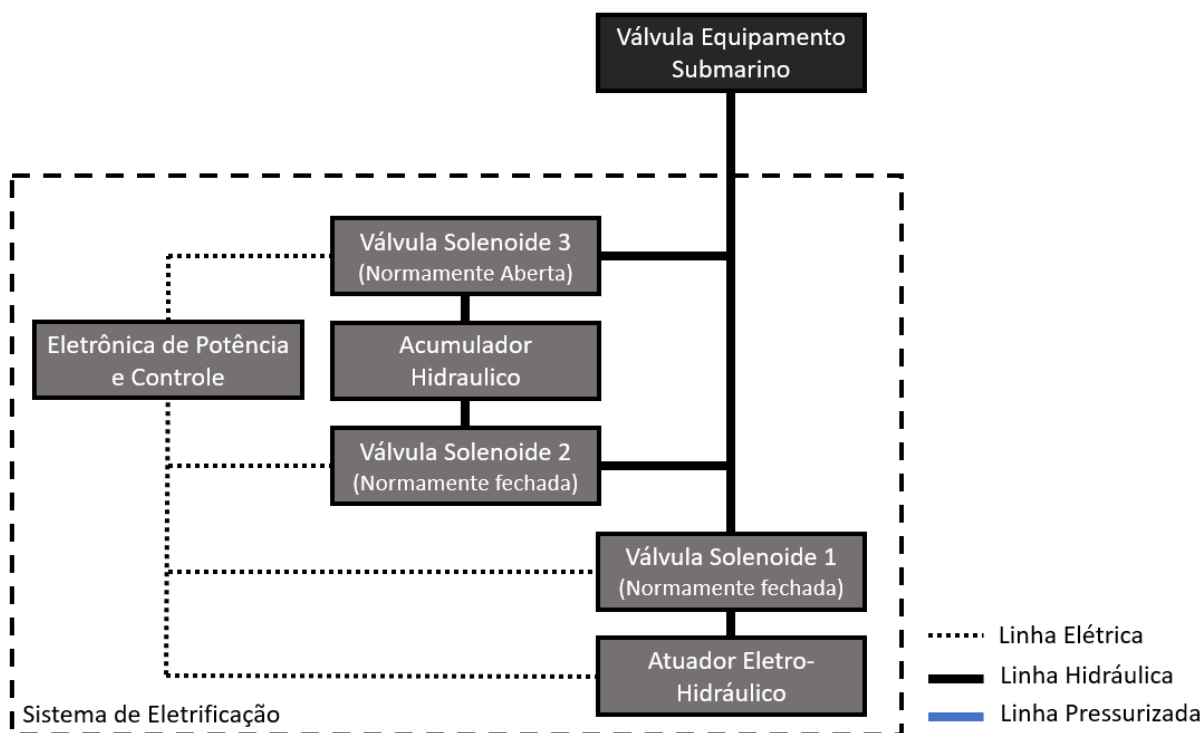


Figura 43 - Diagrama de Blocos do Sistema de Eletrificação (Autor)

A lógica de operação do sistema proposto será explicada a seguir considerando o ciclo completo (abertura e fechamento) de uma válvula de configuração *Fail Safe Close*, que funciona conforme indicado no item 4.4 deste trabalho.

Ao ser comandado pela unidade de superfície para abrir a “Válvula Equipamento Submarino”, a “Eletrônica de Potência e Controle” receberá e tratará o sinal, seguindo com o fluxo de acionamento que comandará as seguintes ações:

- Avançar Atuador Eletro-Hidráulico (partindo da posição inicial).
- Abrir Válvula Solenoide 1 (energizada)
- Fechar Válvula Solenoide 2 (não energizada)
- Fechar Válvula Solenoide 3 (energizada)

Dessa forma, a pressão gerada pelo “Atuador Eletro-Hidráulico” é direcionada à câmara de atuação contida na respectiva “Válvula Equipamento Submarino”, de maneira a promover a abertura do elemento conforme indicado no item 4.4 deste trabalho. Com base nos parâmetros operacionais das válvulas, indicado no item 5.1 deste trabalho, essa operação ocorre com a

pressão de 3.000psi imposta pelo “Atuador Eletro-Hidráulico”, de forma a deslocar o volume de dois litros de fluido de operação da câmara do “Atuador Eletro-Hidráulico” para a câmara de atuação da “Válvula Equipamento Submarino”, necessários para o deslocar o conjunto e posicionar a referida válvula em posição aberta. A Figura 44 apresenta o diagrama de bloco durante a referida etapa de abertura.

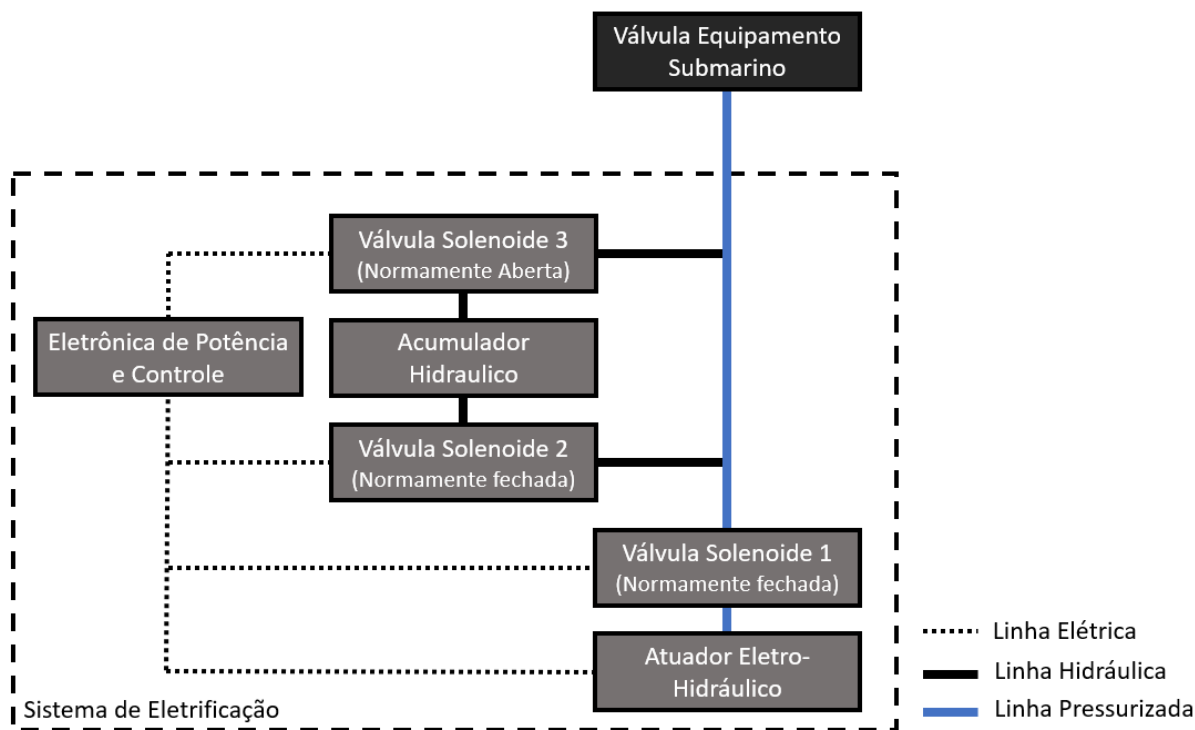


Figura 44 - Diagrama de Blocos Referente a Operação de Abertura (Autor)

Para manutenção da “Válvula Equipamento Submarino” em posição aberta, imediatamente após a conclusão da etapa de abertura, conforme descrito acima, a “Eletrônica de Potência e Controle” receberá e tratará o sinal, seguindo com o fluxo de acionamento que comandará as seguintes ações:

- Parar Atuador Eletro-Hidráulico (posição final)
- Fechar Válvula Solenoide 1 (não energizada)
- Fechar Válvula Solenoide 2 (não energizada)
- Fechar Válvula Solenoide 3 (energizada)

O fechamento da “Válvula Solenoide 1” isola o “Atuador Eletro-Hidráulico” da linha pressurizada, mantendo a pressão do trecho seguinte a esta no valor da pressão de operação da

“Válvula Equipamento Submarino”, de 3.000psi, e conseqüentemente, promovendo a manutenção da mesma na posição aberta.

A Figura 45, abaixo, apresenta o diagrama de blocos durante a referida etapa de manutenção da posição.

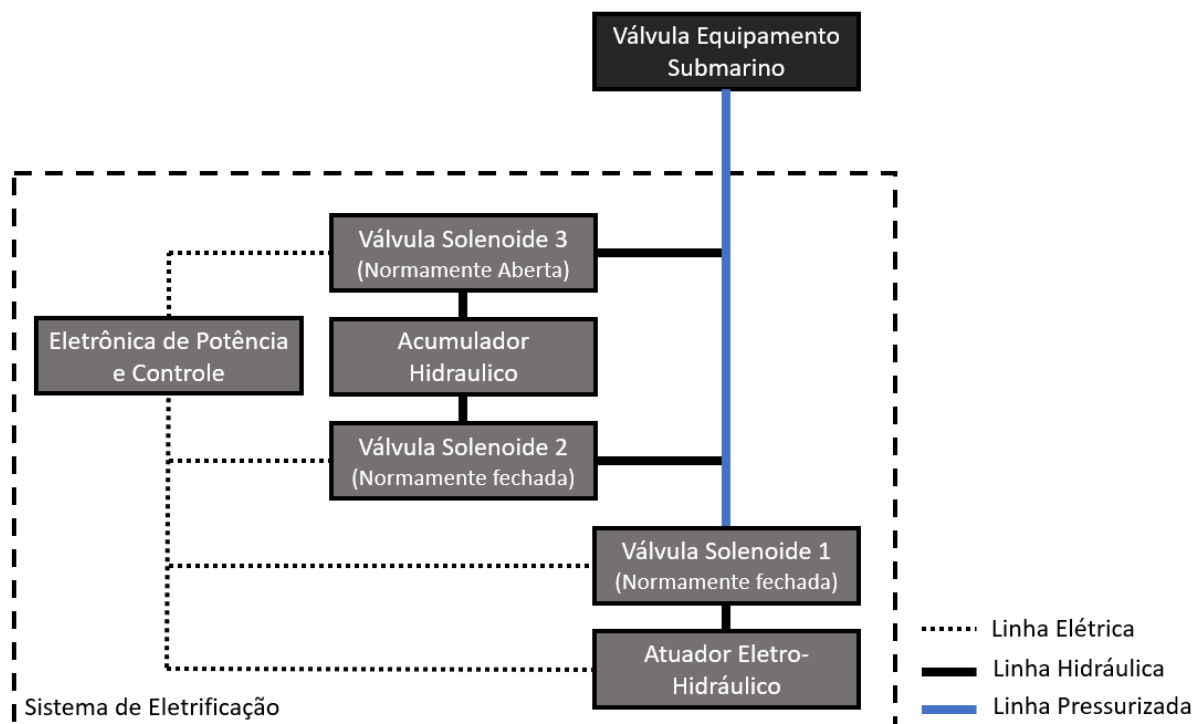


Figura 45 - Diagrama de Blocos Referente a Manutenção da Posição (Autor)

Essa configuração proposta permite que o sistema de Eletrificação mantenha a “Válvula Equipamento Submarino” em posição aberta requerendo apenas a eletrificação de um único componente, a “Válvula Solenoide 3”. Tal característica é extremamente interessante uma vez que essa é a configuração que, quando em operação, o equipamento deve se manter por maior período de tempo, e essa condição ser viável através da energização de um único componente é vantajoso pois o consumo de potência elétrica tende a ser mínimo.

Ao ser comandado pela unidade de superfície para fechar a “Válvula Equipamento Submarino”, a “Eletrônica de Potência e Controle” receberá e tratará o sinal, seguindo com o fluxo de acionamento que comandará as seguintes ações:

- Parar Atuador Eletro-Hidráulico (posição final)
- Fechar Válvula Solenoide 1 (não energizada)
- Fechar Válvula Solenoide 2 (não energizada)
- Abrir Válvula Solenoide 3 (não energizada)

Dessa forma, a pressão contida entre a “Válvula Solenoide 1” e a “Válvula Equipamento Submarino”, que age na câmara de atuação da respectiva válvula conforme indicado no item 4.4, é direcionada ao “Acumulador Hidráulico”. Este por sua vez, absorve todo o volume que foi inicialmente injetado no circuito pelo “Atuador Eletro-Hidráulico” (2 litros) durante a operação de abertura, possibilitando o relaxamento da mola e conseqüente retorno do atuador contido no mecanismo de atuação da “Válvula Equipamento Submarino” também conforme indicado no item 4.4 deste trabalho. E por fim, promovendo o fechamento da respectiva válvula contida no equipamento submarino.

A Figura 46, abaixo, apresenta o diagrama de blocos durante a referida etapa de fechamento. Nesta é possível observar que a “Válvula Solenoide 3” abre e possibilita a comunicação do sistema hidráulico com o “Acumulador Hidráulico”.

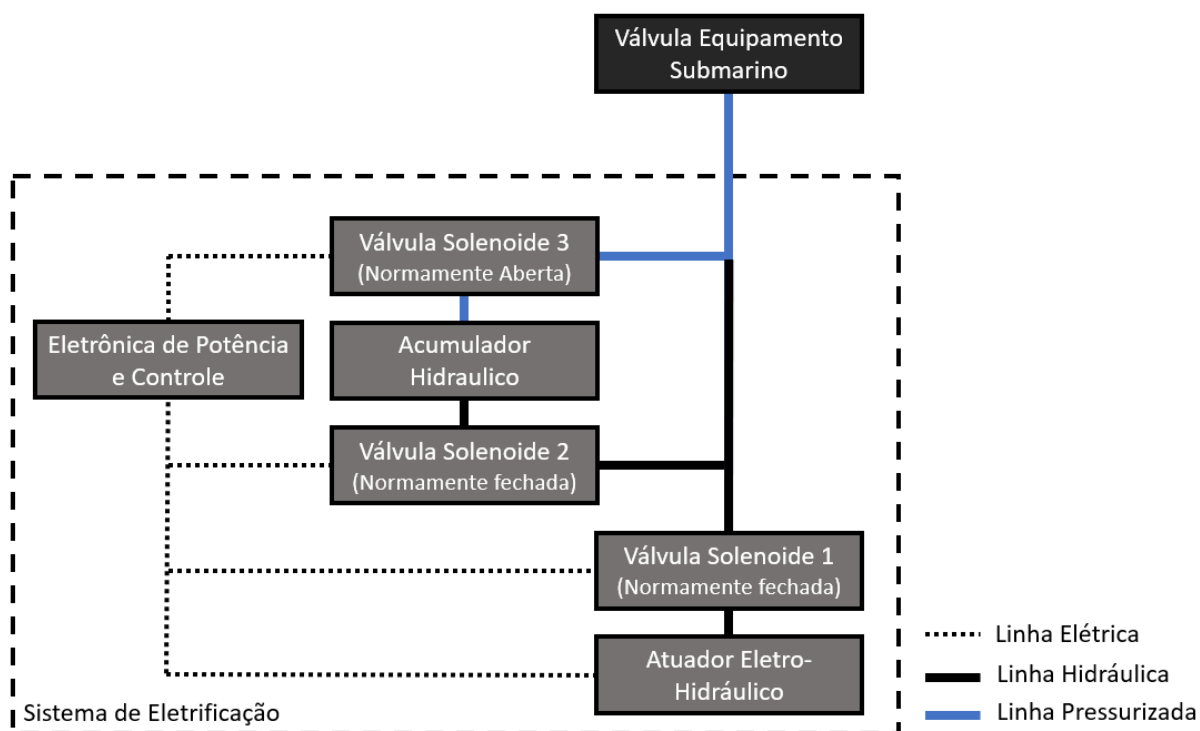


Figura 46 - Diagrama de Blocos Referente a Operação de Fechamento (Autor)

Observa-se que durante o fechamento todos os componentes encontram-se como não energizado, essa é uma característica do sistema *fail safe close*, para que em caso de falha e/ou acidente, que pode resultar na perda de comunicação com o “Sistema de Eletrificação”, seja executado o fechamento imediato e automático da “Válvula Equipamento Submarino”.

Por fim, ainda é necessário retornar para o “Atuador Eletro-Hidraulico” o volume que foi inicialmente injetado no sistema durante a operação de abertura da “Válvula Equipamento

Submarino” (dois litros). Para isso ocorrer, a “Eletrônica de Potência e Controle” receberá e tratará o sinal, seguindo com o fluxo de acionamento que comandará as seguintes ações:

- Retornar Atuador Eletro-Hidráulico (partindo da posição final)
- Abertura da Válvula Solenoide 1 (energizada)
- Abertura da Válvula Solenoide 2 (energizada)
- Fechamento da Válvula Solenoide 3 (energizada)

O retorno do “Atuador Eletro-Hidráulico” para a posição inicial (partindo da posição final) promove a recuperação de todo o volume injetado inicialmente no sistema, possibilitando retornar à posição inicial, com a câmara deste preenchida, e prepara para uma nova atuação se necessário. Para manutenção dessa posição, todo o sistema de eletrificação pode ficar desenergizado, sem consumir potência, visto que o “Atuador Eletro-Hidráulico” na posição de início, não promove pressurização do sistema.

A Figura 47 abaixo, apresenta o diagrama de blocos durante a referida etapa de O retorno do “Atuador Eletro-Hidráulico” para a posição inicial e consequente recuperação de fluido.

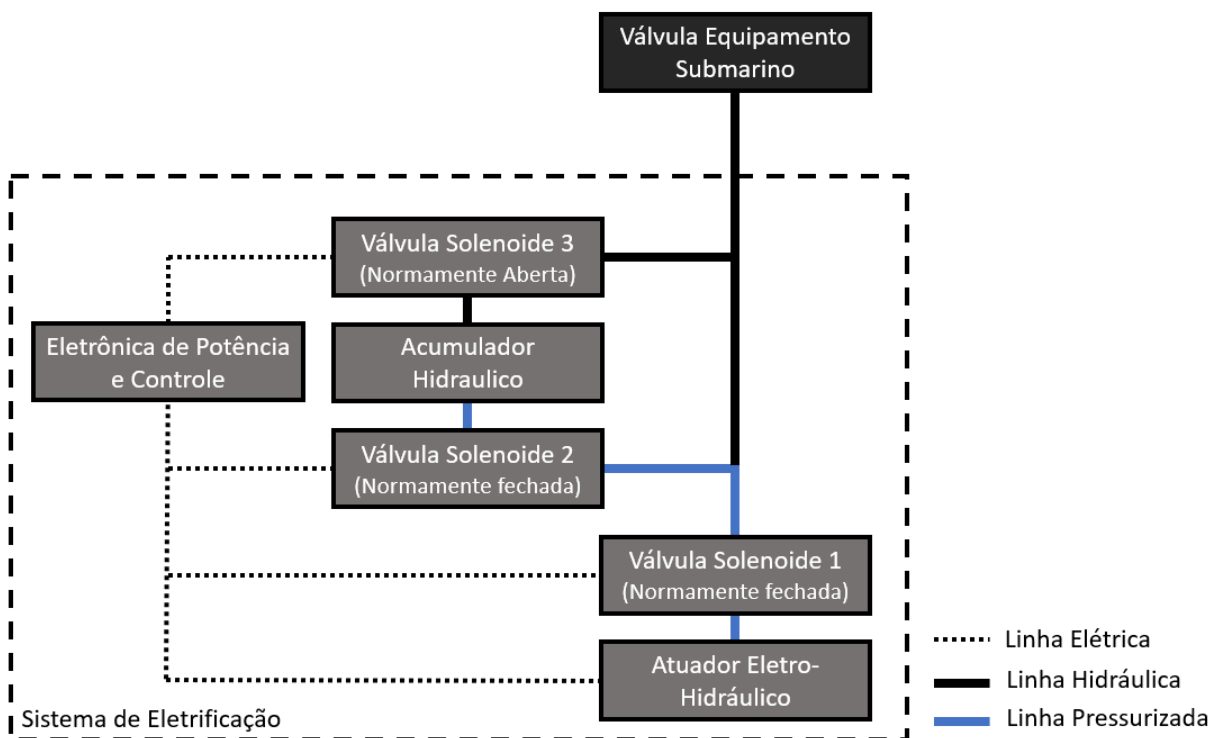


Figura 47 - Diagrama de Blocos Referente a Operação de Retorno do Atuador (Autor)

Fica evidente o funcionamento do sistema proposto, sendo caracterizado pelos principais aspectos:

- Atuação de válvula hidráulica a partir de cabo elétrico da unidade de superfície;
- Manutenção da posição aberta através da energização de um único componente;
- Circuito hidráulico fechado, sem necessidade de completar volume de fluido;
- Comportamento *Fail Safe* mantido;

A Figura 48, abaixo, apresenta o diagrama de blocos do sistema para eletrificação de válvulas de atuação hidráulica contidas em equipamentos submarinos, com detalhe aos componentes do sistema.

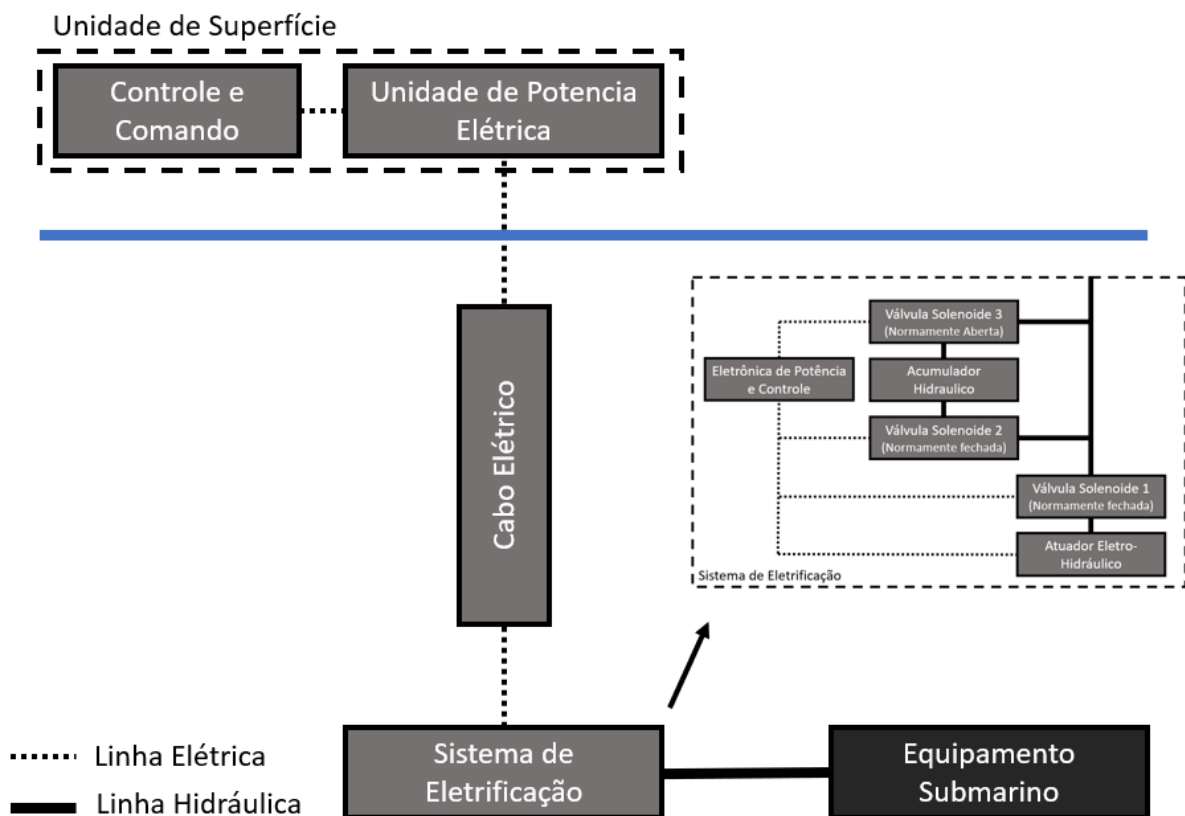


Figura 48 - Diagrama de Blocos Referente ao Sistema Proposto (Autor)

5.3 Módulos do Sistema

O objetivo desse trabalho é pesquisar e apresentar os principais equipamentos submarinos que possuem válvulas de atuação hidráulica, entender a dinâmica de funcionamento das respectivas válvulas, contidas nesses equipamentos submarinos, e atuadas de forma remota, e por fim propor um conceito de funcionamento baseado em lógica, que possibilite a atuação

destes equipamentos a partir de um único e exclusivo cabo elétrico (não limitante) que comunica o referido equipamento submarino com a unidade de superfície.

Não é o foco do presente trabalho detalhar o funcionamento de cada módulo proposto e especificar seus componentes, tendo em vista os requisitos operacionais indicados no item 5.1. Desta forma, serão citados abaixo de forma simplificada apenas os componentes mais relevantes para a solução e suas respectivas dinâmicas de funcionamento, alinhado com o que foi descrito acima. Ainda, junto com a descrição dos respectivos módulos serão sugeridas algumas soluções e melhorias pensadas durante a elaboração deste trabalho, mas não sendo o foco do mesmo.

5.3.1 Atuador Eletro-Hidráulico

O Atuador Eletro-hidráulico é o principal componente do sistema para eletrificação de válvulas de atuação hidráulica contida em equipamentos submarinos. Este é responsável por converter a potência elétrica advinda da unidade de superfície em potência hidráulica, para atuação da respectiva válvula contida no equipamento submarino. Conforme indicado no item 5.1 deste trabalho, o atuador deve ser capaz de pressurizar a linha em até 3.000psi e deslocar o volume mínimo de dois litros de fluido de operação nesta pressão (constante), sendo estes parâmetros os necessários para operação de uma válvula.

Existem diversas configurações e tipos de mecanismos que convertem potência elétrica em potência hidráulica. A exemplo disso indica-se os tradicionais motores hidráulicos, bombas e compressores, dentre outros, sendo a grande maioria de acesso aberto no estado da técnica, conhecido. Dito isto, atuador eletro-hidráulico proposto consiste em um mecanismo do tipo motor/fuso.

Esse tipo de mecanismo é dividido em dois conjuntos, sendo estes o conjunto motor e o conjunto hidráulico. O conjunto motor é responsável por executar o deslocamento dos componentes em sentido linear, de forma a atuar o conjunto hidráulico. Já o conjunto hidráulico é responsável por conter o respectivo fluido de operação, possibilitando sua pressurização e desempenha as vedações dinâmicas necessárias à atuação hidráulica.

De forma a citar apenas os principais componentes e sua dinâmica de funcionamento conforme indicado no item 5.3 deste trabalho, o conjunto motor consiste em um dito motor elétrico, seguido de uma caixa de redução e um fuso de deslocamento linear.

Quando em atuação, o motor elétrico transmite seu movimento de rotação à caixa de redução que faz a adequação do torque/velocidade em função do especificado para o projeto.

Este, por sua vez, transmite seu movimento à um fuso de deslocamento linear, transformando o movimento de rotação em movimento linear de avanço ou retorno, a depender do sentido de rotação.

A Figura 49 representa um motor elétrico acoplado em uma caixa de redução:

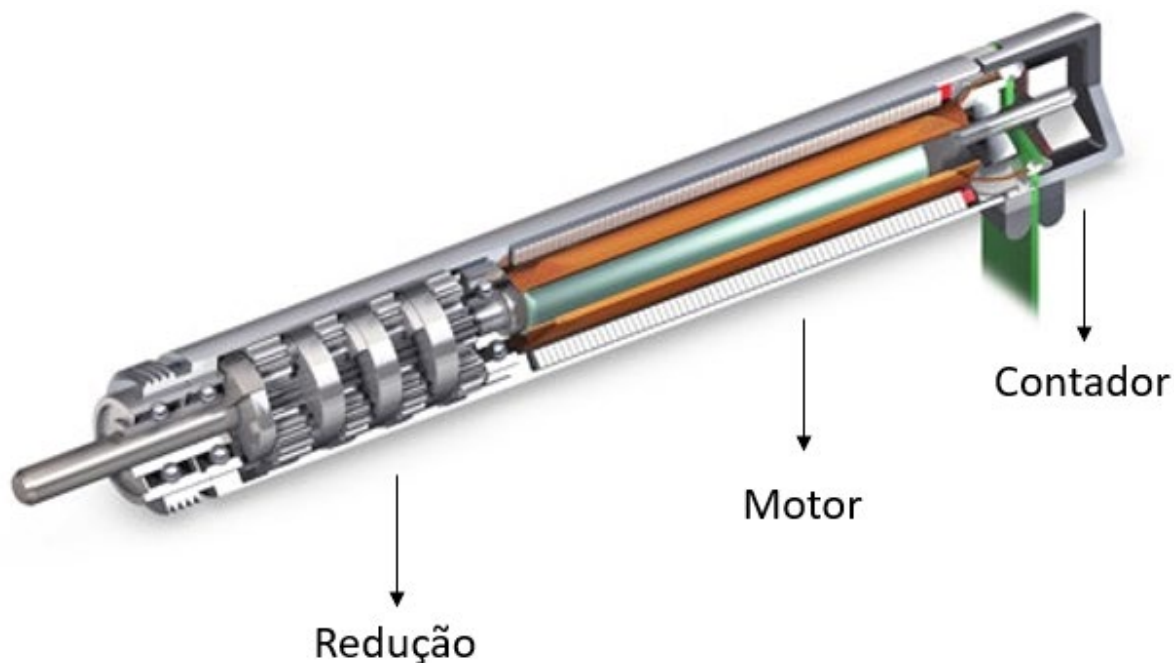


Figura 49 - Motor Elétrico com Redução e *Encoder*. Modificado (Maxon)

Destaca-se que a figura acima indica a presença de um “contador”, esse elemento é mais conhecido no mercado como *encoder*, sendo este responsável pelo controle de posição do motor durante a operação. A presença desse elemento permite o posicionamento preciso do motor durante operação, estando este sob carregamento ou não.

O fuso de deslocamento linear, representado na Figura 51 é o elemento responsável por converter a rotação gerada pelo motor e adequada pela caixa de redução em movimento linear de avanço ou retorno, tendo sua dinâmica de funcionamento, de maneira simplificada, baseada na relação parafuso (eixo roscado) / porca (castanha deslizante). Ao considerar que o parafuso (fuso/eixo) se mantém em rotação, sem deslocamento, e que a porca (castanha) encontra-se em restrita ao giro, tendo liberdade apenas para o deslocamento linear, a própria deve mover-se no sentido de liberdade conforme sentido de rotação imposto ao eixo. Esse movimento é a força motriz de atuação do conjunto hidráulico.



Figura 50 - Fuso de Deslocamento Linear (Mectrol)

A força horizontal gerada pelo fuso de deslocamento linear é transferida à um pistão, este por sua vez possui uma vedação em sua extremidade e desliza com esta por dentro de uma câmara hidráulica, transformando força horizontal e seu respectivo deslocamento linear em pressão e fluxo (volume) de fluido para fora da câmara, em direção à válvula a ser atuada.

A Figura 52 é uma representação esquemática do conceito de construção do atuador eletro-hidráulico descrito neste item, na posição inicial; enquanto a Figura 53 refere-se a uma mesma representação esquemática, porém, na posição final.

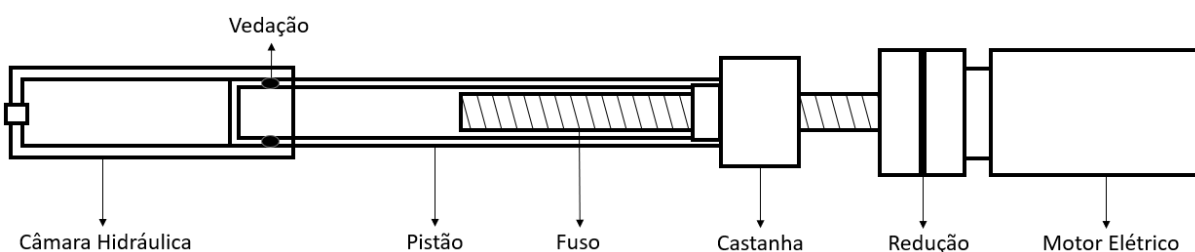


Figura 51 - Esquemático Atuador Eletro-Hidráulico em Posição Inicial (Autor)

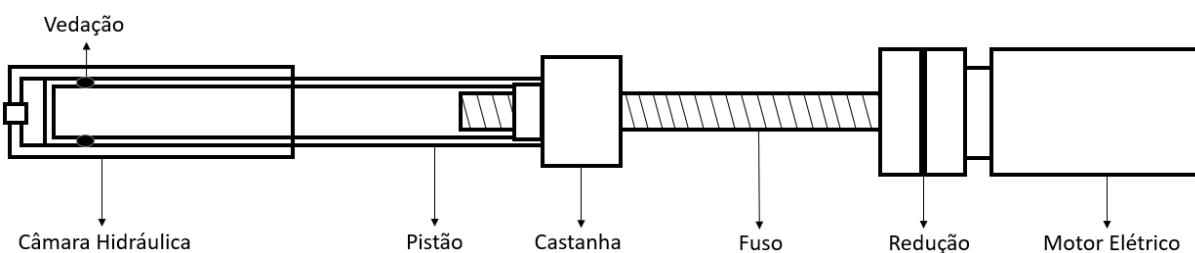


Figura 52 - Esquemático Atuador Eletro-Hidráulico em Posição Final (Autor)

5.3.2 Válvula Solenoide

A Válvula Solenoide é um componente consolidado na indústria, altamente comercializado, que apresenta diversos modelos de diferentes classes e tamanhos disponíveis no mercado. Seu funcionamento se baseia em uma bobina solenoide, uma espécie de enrolamento elétrico, que quando energizado induz um campo magnético de ação, gerando uma força que desloca o pistão contido no centro deste. Este pistão por sua vez, encontra-se solidário ao mecanismo de atuação da válvula, fazendo com que o mesmo se desloque em sentido igual, de forma a executar o fechamento ou abertura.

A Figura 53 representa de maneira esquemática uma válvula solenoide nas posições fechada e aberta, respectivamente.

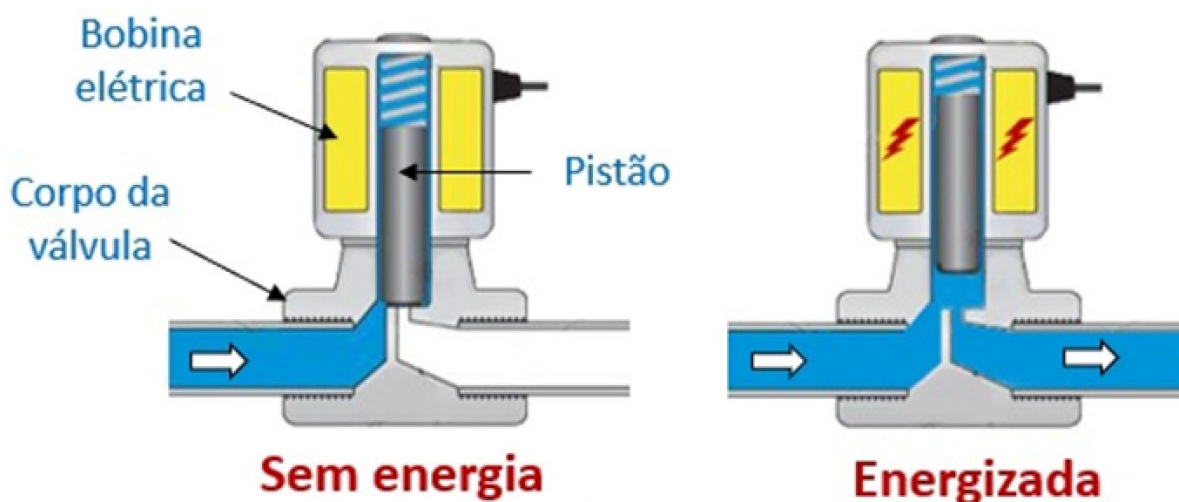


Figura 53 - Válvula Solenoide (MTi)

Dada sua disponibilidade no mercado, uma alternativa a se considerar é o posicionamento das três válvulas solenoides tradicionais, que atendam a pressão indicada no item 5.1 deste trabalho, dentro de um mesmo vaso de pressão para não ser necessário o trabalho de engenharia com intuito de deixá-las aptas a aplicação em ambiente submarino, o que apresenta certa complexidade. Dentro de um vaso, as válvulas estarão em condição similar ao ambiente da superfície, sendo o vaso a interface que resiste ao ambiente submarino externo.

A Figura 54 representa esquematicamente o posicionamento destas válvulas no interior de um vaso de pressão, as mantendo conectadas entre si e com o acumulador hidráulico.

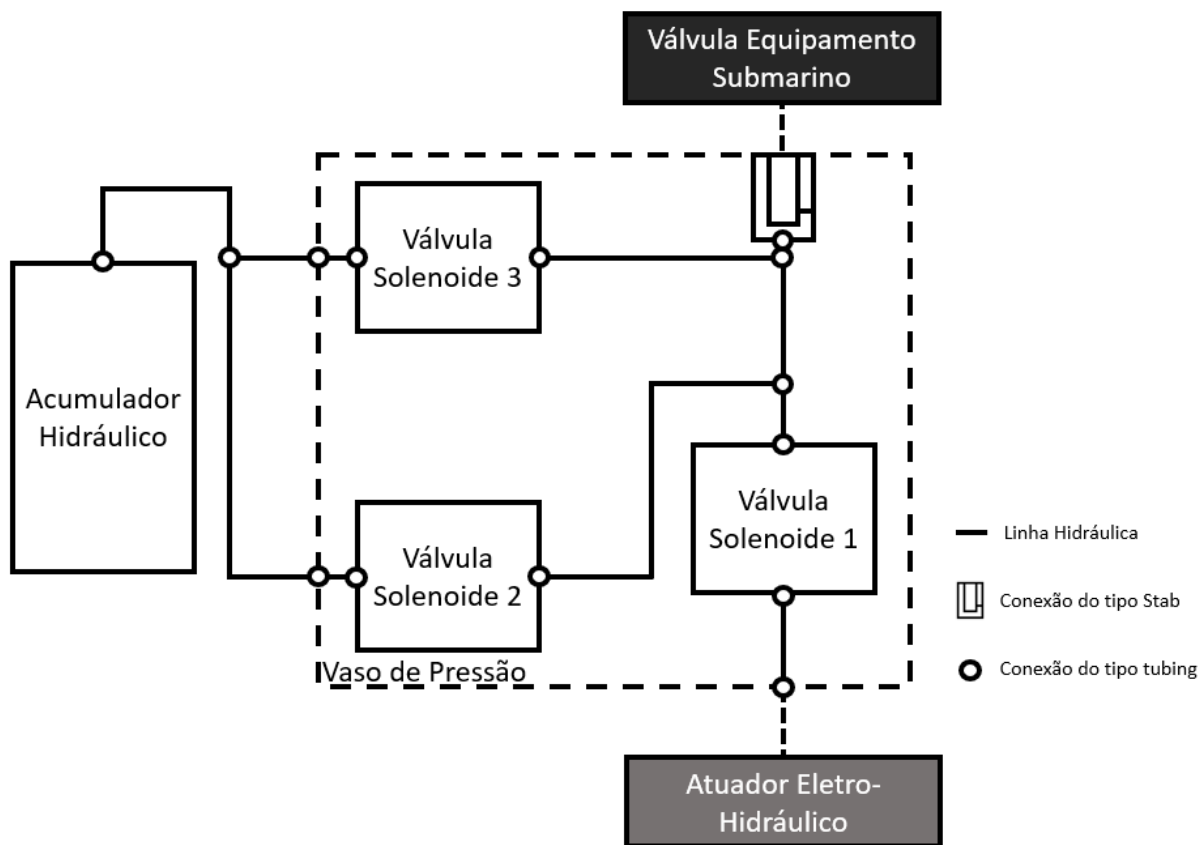


Figura 54 - Configuração Física Válvulas Solenóide

Ainda, para fazer a comunicação hidráulica entre o atuador, o vaso contendo as válvulas solenóides e o esquema de distribuição comum entre elas, deve-se utilizar tubos condutores do tipo *tubing*, muito comum no mercado de óleo e gás. Estes são tubos metálicos de pequeno diâmetro (menor que meia polegada) dimensionados para operar sobre alta pressão, ambiente corrosivos e elevadas faixas de temperaturas, esse último aspecto não se aplicando à ocasião, cabendo destacar que a vedação obtida a partir das conexões entre esses tubos são do tipo metal-metal, o que aumenta o nível de confiabilidade.



Figura 55 - Conector para *Tubing* (Swagelok)

Destaca-se que de forma a otimizar o sistema de linhas e conexões hidráulicas, a saída do vaso pode conter em seu corpo um pórtico próprio, específico para conexão direta com o perfil *stab*, conforme representado na Figura 54, e descrito no item 4.3 deste trabalho.

5.3.3 Acumulador Hidráulico

No sistema proposto o acumulador hidráulico possibilita o circuito hidráulico fechado, visto que esse componente atua de forma a absorver todo o volume de fluido injetado no sistema para a operação da respectiva válvula, e depois promove o retorno deste à câmara hidráulica do atuador eletro-hidráulico. As vantagens de ter um circuito fechado é a não necessidade de repor fluido de operação, visto que o equipamento opera em ambiente submarino, onde toda e qualquer intervenção é complexa e gera custos. Dito isto, o sistema de eletrificação conforme proposto não possui limitação no número de atuações em função do volume de fluido de serviço disponível.

Os vasos acumuladores, como também são chamados, são componentes comercializados e aplicados em diversos segmentos, tanto da indústria de óleo e gás quando de outras, sendo necessário apenas a especificação do modelo, tendo em vista o meio do ambiente de aplicação e a pressão externa suportada. Seu funcionamento consiste em uma bexiga de alta resistência encapsulada por um vaso de pressão e duas conexões hidráulicas, sendo uma para o interior da bexiga e outra para a área de serviço, região entre a bexiga e parede do vaso.

Seu funcionamento no proposto sistema de eletrificação consiste em ter o interior da bexiga pressurizada com gás em baixa pressão, 50psi, equivalente a 1% da pressão máxima de trabalho esperada no circuito hidráulico, e a área de serviço conectado ao circuito hidráulico. Considerando os parâmetros operacionais indicados no item 5.1, e a lógica de funcionamento apresentada no item 5.2 deste trabalho, durante a operação de fechamento da válvula hidráulica contida no equipamento submarino, quando a válvula solenoide 3 abrir, o volume contido no interior da câmara de atuação da válvula hidráulica será direcionado ao acumulador hidráulico devido a ação de retorno do sistema de atuação da válvula em fechamento. Isso ocorre em função do relaxamento da mola contida no seu interior conforme indicado no item 4.4 deste trabalho. Ao entrar no acumulador hidráulico, o fluido tende a preencher a área de serviço, reduzindo o volume da bexiga preenchida com gás pressurizado a baixa pressão. Vale ressaltar que devido a compressibilidade do gás contido no interior da bexiga, o incremento de pressão devido sua redução de volume não deve afetar o funcionamento do sistema conforme proposto.

Em sequência, a válvula solenoide 3 fecha, as válvulas solenoides 1 e 2 se abrem, e o atuador se desloca saindo da posição final, em direção à posição inicial, recuando, promovendo o preenchimento da câmara hidráulica desse respectivo componente com o auxílio da pressão da bexiga contida no acumulador hidráulico, visto que essa atuará de forma a se expandir e ocupar seu espaço inicial novamente, conforme representado na Figura 56.

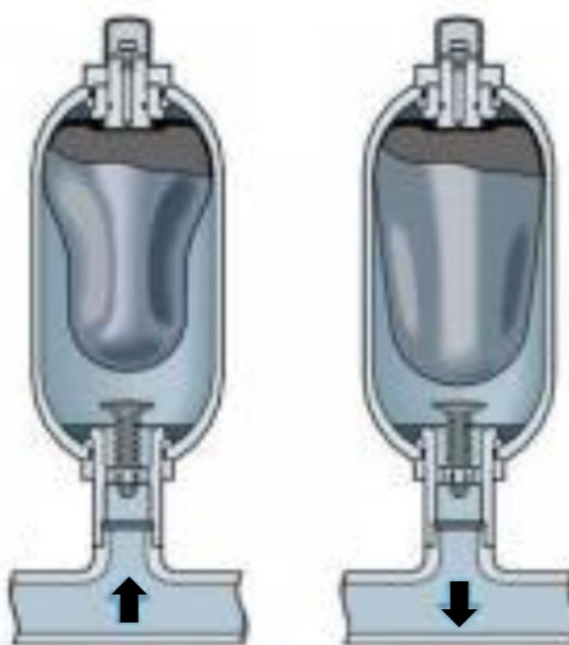


Figura 56 - Acumulador Hidráulico (André L. M. Vasconcelos, UFRJ - 2015)

5.3.4 Eletrônica de Potência e Controle

A eletrônica de potência e controle é o módulo responsável por receber a potência elétrica e os sinais de comandos advindos da unidade de superfície, através de um cabo elétrico, para em seguida processar e distribuir de forma a realizar a operação que foi comandada, ou seja, mover o atuador eletro-hidráulico e operar as válvulas solenoides.

Dada a natureza dos componentes que constituem esse módulo, como placas eletrônicas, microchip, processadores, transformadores, dentre outros (componentes eletrônicos sensíveis a choque, vibração e umidade), estes devem ser acondicionados em vasos de pressão de forma a isolá-los do ambiente submarino externo, proteger da ação da água, pressão, e manter sua integridade em condições de choque e vibração.

A sugestão para esse módulo é dividi-lo em pelo menos dois vasos de pressão submarinos independentes, e conectados entre si através de cabos elétricos, sendo um destinado aos componentes de controle e telemetria e outro destinado aos componentes de alimentação elétrica. Essa separação se faz necessária tendo em vista que os componentes de alimentação

elétrica estão sujeitos a altas tensões em função das distâncias entre o equipamento e a unidade de superfície. Essa condição induz campos magnéticos que interferem e geram ruídos nos demais componentes eletrônicos, cabendo destacar que os demais componentes de controle e telemetria são sensíveis a esse tipo de interferência.

Ainda, os componentes do sistema de alimentação elétrica possuem configuração simplificada, sendo comumente constituídos por enrolamentos em formato de transformador. Estes componentes são sólidos e não sofrem com a pressurização do ambiente submarino, apenas devem ter compatibilidade com o fluido do ambiente no qual está submetido.

Tendo em vista o indicado acima, uma alternativa é considerar o vaso de pressão com sistema de equalização de pressões. Esse sistema possibilita o equilíbrio entre a pressão do ambiente externo e interno, resultando em um diferencial de pressão mínimo. Dessa maneira o vaso de pressão não será submetido a grandes diferenças de pressão, logo a espessura de parede do mesmo pode ser reduzida. Abaixo, na Figura 57, é apresentado um esquemático do funcionamento do mecanismo de compensação de pressão, pensado para o respectivo vaso de eletrônica de potência.

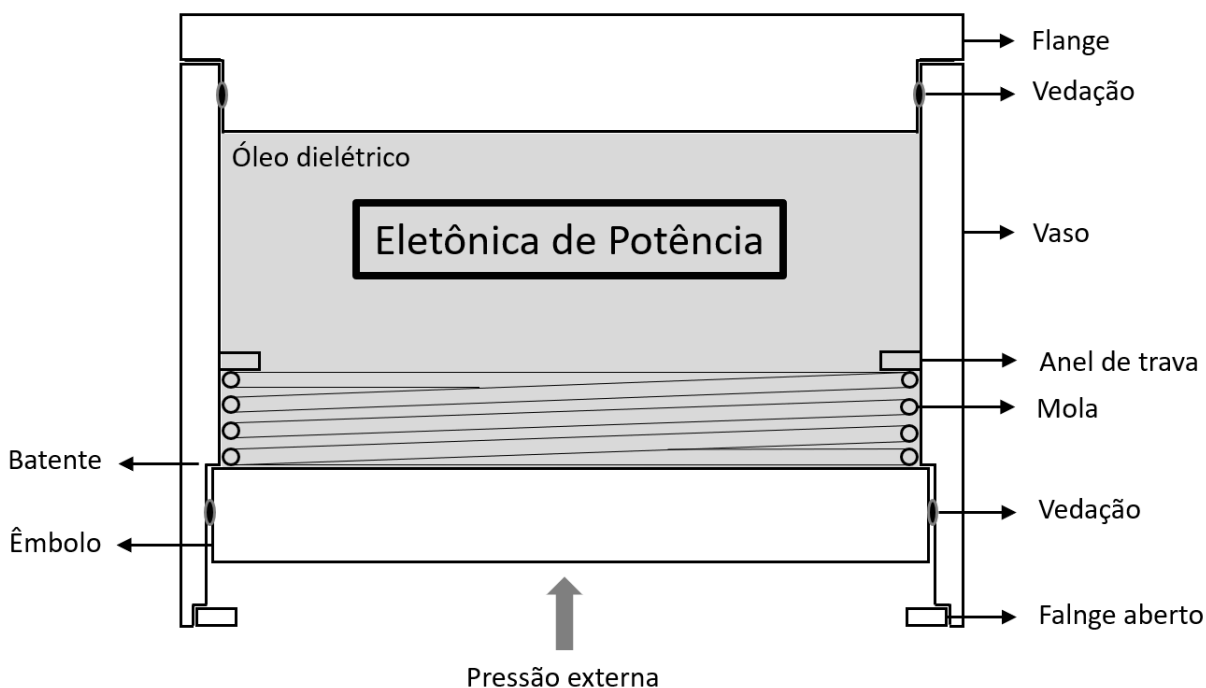


Figura 57 - Vaso de Pressão Compensado (Autor)

O referido mecanismo proposto para equalização de pressão funciona a partir do deslocamento de um êmbolo em função da ação da pressão externa agindo sobre este, que ao se deslocar no sentido de compressão do respectivo vaso, comprime a mola de retorno e o fluido (óleo dielétrico) contido no interior do mesmo, fazendo com que este se mantenha na mesma

pressão que o ambiente externo, não havendo diferencial significativo. O anel de vedação contido no mecanismo evita a contaminação do óleo dielétrico do interior do vaso com o fluido do ambiente externo, e a mola age de forma a manter o êmbolo na posição inicial, fora do ambiente pressurizado, possibilitando o curso completo quando em operação, conforme observa-se na Figura 58.

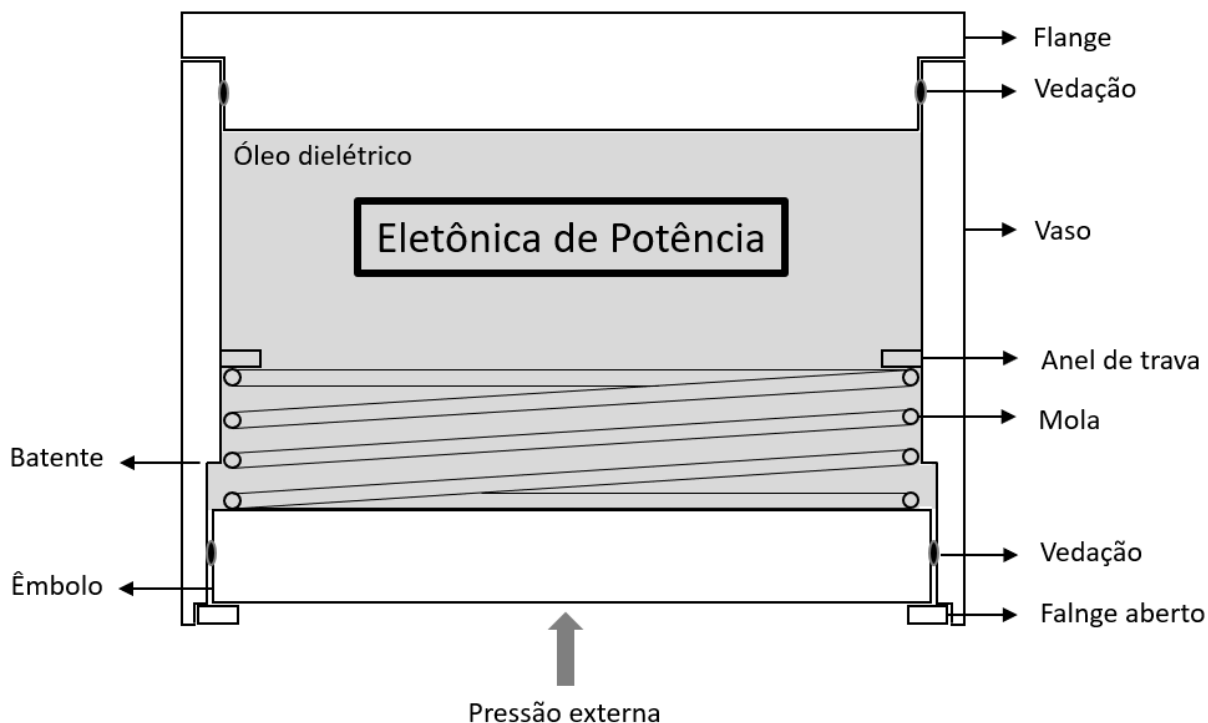


Figura 58 - Vaso de Pressão Compensado em Posição de Montagem (Autor)

Ainda, cabe destacar que o curso livre disponível para deslocamento do êmbolo é de extrema importância, visto que os métodos de preenchimento não garantem a ausência de bolhas, e isso influencia no funcionamento do mecanismo proposto.

O mecanismo de compensação de pressão conforme descrito acima se destaca pelo fato de o mesmo estar contido na própria estrutura do vaso de pressão, sem necessidade de componentes externos como bexigas e/ou acumuladores para executar a mesma função de equalização das pressões.

5.3.5 Skid

Para manter todos os componentes protegidos, interligados e comunicando entre si, é necessário que estes estejam instalados em uma mesma estrutura, sendo esta preparada e projetada para resistir aos níveis de choque e vibração, oxidação e carregamento exigidos de um equipamento submarino durante seu ciclo de vida completo, levando em consideração as

etapas de montagem/teste, comissionamento, operação e recolhimento. Essa estrutura onde são instalados os módulos/componentes que formam o equipamento submarino é denominada de “*skid*”, e a Figura 59 refere-se a um exemplo.



Figura 59 - Exemplo de Estrutura para Acondicionamento de Equipamentos Submarinos

Os *skids*, são geralmente metálicos e sua metalurgia deve ser selecionada em função do ambiente de aplicação, esforços esperados e tempo de vida esperado (vinte anos geralmente). Ainda, a estrutura deve contar com tratamento superficial, pintura epóxi e sistemas de proteção catódicos, sendo esse último, método de proteção contra corrosão aplicado considerando a massa total do equipamento (tanto a própria estrutura quanto os módulos).

Além dos aspectos já citados, durante o projeto do referido *skid* deve-se levar em consideração a manuseabilidade do componente, em atenção ao centro de gravidade (CoG) do conjunto, prevendo os desafios para instalação deste no ambiente submarino. Dessa forma, deve-se considerar olhais de içamento, olhais de manuseio e estaiamento, e uma estrutura para base denominada como *mud-mat*.

O *mud-mat*, é uma chapa perfil específico, contendo diversos furos, por onde a água se desloca durante movimentação da estrutura. Esta evita que o equipamento submarino afunde no leito (solo) marinho, e garante a passagem de água através da estrutura durante a movimentação do equipamento, dando uma melhor manobrabilidade durante a instalação.

5.3.6 Comunicação Hidráulica Submarina

Conforme apresentado até o momento, a unidade de superfície gera e envia potência elétrica/ sinais de comando através de um cabo elétrico por quilômetros, até o proposto sistema de eletrificação. Este por sua vez processa o recebido de forma a executar o comandado através do acionamento do atuador eletro-hidráulico em conjunto com as válvulas solenoides e acumulador hidráulico. Para fazer a comunicação hidráulica entre o sistema de eletrificação e o equipamento submarino que contém a válvula de atuação hidráulica a ser operada é necessário a utilização de cabos hidráulicos compatíveis com o ambiente.

Esse tipo de cabo existe disponível no mercado e é empregado com frequência nos equipamentos submarinos para a mesma função (comunicação hidráulica). Dessa forma, não há alteração e/ou necessidade de adequação para esse componente, visto que sua aplicação se mantém a mesma que a atual. Ainda, a denominação dada pelo mercado a esse componente é HFL – *Hydraulic Flying Leads* (cabos hidráulicos voadores), pois estes ficam suspensos comunicando os equipamentos entre si.

Conforme indicado no item 5.3.2 deste trabalho, é sugerido que o vaso de pressão que contém as válvulas solenoides tenha um pórtico de conexão do tipo “*stab*”, perfil utilizado para essas conexões. Dessa forma, depois de posicionar o sistema de eletrificação em leito marinho, próximo ao equipamento submarino a ser operado, é necessário que o ROV faça a conexão entre o pórtico contido no vaso de válvulas solenoides (a localização não é um limitante) e o painel de controle do equipamento submarino.

A Figura 62 refere-se a um cabo submarino de comunicação hidráulica, com terminações do tipo *stab*, para conexão com equipamento submarino.



Figura 60 - Cabo Hidráulico Submarino (Optimesubsea)

Capítulo 6

6 Conclusão

Ao longo deste trabalho foram apresentados os principais equipamentos submarinos da cadeia de exploração e produção de óleo e gás, de forma a compreender todo o processo, desde o reservatório, até a unidade de superfície. Foi realizado um levantamento, através de pesquisas, sobre os principais tipos de válvula contidas nos equipamentos submarinos, de atuação remota a partir de potência hidráulica. Ainda, através da mesma, foi detalhado os respectivos mecanismos de acionamento e toda a infraestrutura responsável pela geração de potência hidráulica e transmissão, que se dá a partir da unidade de superfície, e é transmitida por quilômetros de cabos umbilicais para o referido equipamento localizado em campo, conforme representado parcialmente na figura 61.



Figura 61 – Sistema de Atuação Tradicional (Autor)

Com o obtido conhecimento a respeito do tema, é proposto no presente trabalho um conceito de funcionamento baseado em lógica, que possibilita a atuação das válvulas contidas nestes equipamentos submarinos, a partir de um único e exclusivo cabo elétrico (não sendo limitante), que comunica o referido equipamento em campo com a unidade de superfície, de forma a transmitir potência elétrica e sinal de comunicação e controle.

Fica evidente o possível funcionamento, a viabilidade, da proposta de eletrificação de equipamentos submarinos instalados em campo, e em operação, sem necessidade de intervenção complexa, para substituição do mesmo ou adaptação deste na superfície. A viabilidade dessa alteração se dá a partir da aplicação do sistema conforme proposto neste

trabalho, posicionando-o próximo ao equipamento a ser operado e fazendo a interligação entre estes, conforme representado parcialmente na figura 62.

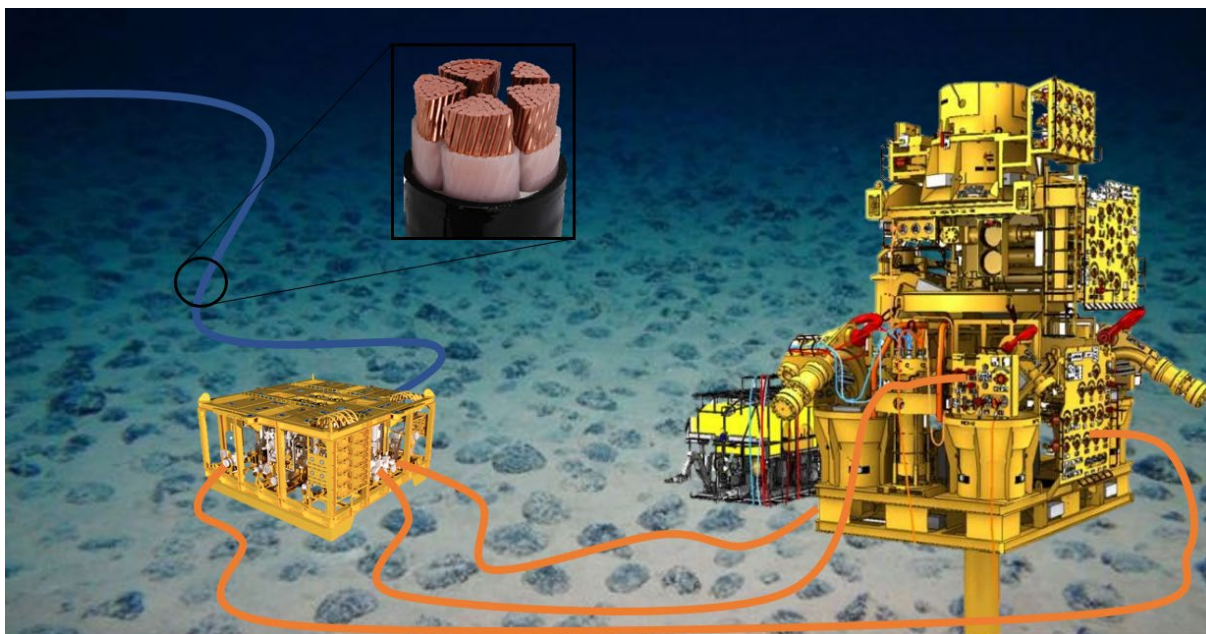


Figura 62 - Sistema de Atuação Proposto (Autor)

Destaca-se que as interfaces hidráulicas de controle contidas no equipamento submarino a ser controlado se mantem conforme original, conectando nesta os cabos submarinos de controle e comunicação (hidráulicos e elétricos) oriundos do sistema de eletrificação, por onde se dará o seu controle. Por sua vez, o sistema de eletrificação posicionado em campo, próximo ao equipamento que se deseja atuar, recebe potência elétrica e sinais de comunicação e controle advindos da unidade de superfície, a quilômetros de distância, através de um único cabo elétrico.

Substituir a infraestrutura de geração e transmissão de potência hidráulica por uma infraestrutura de geração e transmissão de potência elétrica traz ganhos relevantes devido as vantagens operacionais para o equipamento, e vantagens de comissionamento destes. Unidades de potência hidráulica (HPUs) e cabos umbilicais complexos (com vias hidráulicas) são substituídos por unidades de potência elétrica, e cabos elétricos.

As unidades de potência elétrica são de menor porte, e já se encontram presente nas unidades de superfície. Os cabos elétricos possuem estrutura simplificada e de menor sensibilidade operacional. Dessa forma, possibilita-se a redução das unidades de potência hidráulica, ou até supressão destas, liberando espaço nas unidades de superfície, e se simplifica as operações de interligação submarina, uma vez que cabos elétricos são de fácil manuseio e instalação.

Logo, pode-se afirmar que além de ser viável (possível), promover a eletrificação dos equipamentos submarinos é de interesse da indústria, visto que traz ganhos operacionais e econômicos, tornando a operação mais eficiente. O que vem em alinhamento as premissas de desenvolvimento adotadas pelas principais companhias do setor.

6.1 Sugestão de Próximos Estudos

No presente trabalho foi proposto apenas um conceito de funcionamento baseado em lógica, que possibilita que as válvulas de atuação hidráulica contidas em equipamentos submarinos já instalados em campo e que se encontram em operação, sejam operadas remotamente a partir de um único cabo elétrico.

De forma geral podem ser adotadas duas vertentes de continuidade de estudos sobre o presente trabalho, uma análise das “vantagens” geradas pela eletrificação, ou uma proposta de protótipo de equipamento, com componentes especificados. A análise com foco no levantamento e caracterização/quantificação das vantagens geradas a partir da eletrificação de equipamentos submarino convencionais possibilita um maior entendimento do impacto que a solução tem sobre o mercado, e sua relevância para o desenvolvimento. Já o desenvolvimento e proposta de um protótipo visa identificar os principais gargalos para materialização desse sistema de eletrificação, promovendo o desenvolvimento de conceitos e soluções de engenharia, em continuidade ao apresentado no subtópico 5.3 deste trabalho.

Capítulo 7

7 Referências Bibliográficas

AKER SOLUTIONS, <https://www.akersolutions.com/>, acesso em 29/12/2022.

ALVARENGA, D. "Passados 11 anos do anúncio da sua descoberta, o pré-sal já responde por praticamente metade do total de petróleo e gás natural produzido no Brasil". Portal G1 Economia, 23 Dezembro 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/pre-sal-responde-por-quase-metade-do-petroleo-produzido-no-pais-e-fatia-de-estrangeiras-chega-a-33.ghtml>>. Acesso em: 07/01/2023.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Petroleum and Natural Gas Industries, **Drilling and Production Equipment d Wellhead and Christmas Tree Equipment**, nineteenth ed., API, 6A, (2004).

ANTUNES, R. C. F.; ET AL. **Sistemas de produção em instalações marítimas**. Rio de Janeiro: Apostila do programa de trainees Petrobras, 2003.

CERQUEIRA, M. B, **Instalação de equipamentos submarinos em águas ultra-profundas através de suspensores flexíveis**, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ 1998.

Driemeier, L. (2017). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, disponível em Departamentode Engenharia Mecânica: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2247566/mod_resource/content/1/Material_Aulas01e02.pdf, acessado em 01/01/2023.

F. C., F. C., and O. H., "Modular axial-flux permanentmagnet motor for ship propulsion drives," in IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, pp. 673–679, 1999.

FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, Eloi; PEDROSA JUNIOR, Oswaldo A.; PINHO, António Correia de. **Dicionário do petróleo em língua portuguesa: exploração e produção de petróleo e gás**. Rio de Janeiro: PUC-Rio: Lexikon, 2009.

FORMIGLI, J. **Campos Basin: 20 years of subsea and marine hardware evolutions**, PETROBRAS S.A OTC 1997.

GARCIA, J. E. L. **Árvore de natal molhada**. Rio de Janeiro: Apostila da PETROBRAS/E&PBC/GEPRO/GENPO/GOSUP, 1999.

HASVOLD A. K., "Electric actuation of a subsea xmt," Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2007. Department of Structural Engineering.

HERDEIRO, M. A. N. **Instalação de sistemas submarinos de produção em áreas remotas**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado COPPE/UFRJ, 1997.

J. Koto, **Subsea Connection & Jumper**, Ocean & Aerospace Research Institute, Indonesia.

J.Koto, **Subsea Manifold and Its Application**, Ocean & Aerospace Research Institute, Indonesia.

J. Koto, **Subsea PLEM & PLET**, Ocean & Aerospace Research Institute, Indonesia.

J. Koto, **Subsea Production Life Cycle**, Ocean & Aerospace Research Institute, Indonesia.

J. Koto, **Subsea Production System Installation**, Ocean & Aerospace Research Institute, Indonesia.

J. Koto, **Subsea Production System**, Ocean & Aerospace Research Institute, Indonesia.

J. Koto, **Subsea Well Development**, Ocean & Aerospace Research Institute, Indonesia.

LABORATÓRIO DE CONTROLE AUTOMAÇÃO, ENGENHARIA DE APLICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO (LEAD). **Corrida para o mar**. Disponível em: http://www.coppe.ufrj.br/sites/default/files/coppe_pre-sal.pdf; Acesso em 12/12/2022.

LEITE P. A. P., SOARES L. P. F., CORDEIRO Y. M., FRANCO C. S. S., FREITAS F. B. V., SOARES R. M., SANTOS H. S., **Estudo Batimétrico da Região do Pré-Sal Brasileiro Através do Modelo Topex V.19.1**, Faculdade Salesiana Maria Auxiliadora, Macaé, RJ, Brasil.

LARSEN E. W., “**Analysis of all-electric systems for subsea development.**” Department of Technical Cybernetics, 2006.

MASHIBA, M. H. S. **Válvulas e Atuadores Submarinos**. Porto Alegre: PROMINP, Engenheiro Projetista de Válvulas para Aplicação Submarina, 2015.

MAXON Motors, <https://www.maxongroup.com/maxon/view/content/index>, acesso em 30/12/2022.

MENDES A. P. A., ROMEIRO R. A. P., COSTA R. C., **Mercado e aspectos técnicos dos sistemas submarinos de produção de petróleo e gás natural**. BNDES Setorial 35, p. 155 – 188.

MOREIRA, J. R. **Apostila de treinamento de projetistas de poço**, Rio de Janeiro – RJ, 2004.

PASQUALINOS, ILSO, **Notas de aula sistemas submarinos**, Rio de Janeiro – RJ, 2013.

PETROBRAS, **BR Sistemas Submarinos**, Rio de Janeiro – RJ, 2013.

PETROBRAS. **Curso de introdução à engenharia submarina**. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras RH/UP/ECTEP - Petrobras Petróleo Brasileiro S.A., 2010.

PETROBRAS. **Nossas reservas provadas em 2018**. Fatos e Dados, 28 agosto 2019. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/nossas-reservas-provadas-em-2018.htm>. Acesso em: 01/12/2022.

PETROBRAS, **Plano de Negócio Petrobras 2014-2018**, Rio de Janeiro – RJ, 2013.

PONTIFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC-RIO. **Desenvolvimento das Atividades de Construção de Poços**. PUC-Rio - Certificação Digital nº 1221615/CA.

ROSSETTO, D. **Análise Estrutural de Válvulas**. Porto Alegre: PROMINP, Engenheiro Projetista de Válvulas para Aplicação Submarina, 2015.

SHELL GLOBAL, <http://www.shell.com/about-us/major-projects/appomattox.html>, acesso em 28/12/2022.

SOTOMAYOR, H. B. **Estudo comparativo entre válvulas hidráulicas**. Rio de Janeiro: Projeto de Graduação UFRJ 110p., 2016.

TECHNIPFMC Technologies, <https://www.technipfmc.com/>, acesso em 30/12/2022.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Ed. Interciência, 2001.

USP, https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3524133/mod_resource/content/1/Aula%2010%20Prof.%20Sansone.pdf, acessado em 03/01/2023.

UFRJ, <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/>, acessado em 10/12/2022.

SEADRILL, <https://www.seadrill.com/>, acessado em 08/01/2023.

SWAGELOCK, <https://www.swagelok.com/>, acessado em 08/01/2022.