



ANÁLISE DA CONEXÃO VERTICAL DIRETA NA INSTALAÇÃO DE LINHAS FLEXÍVEIS E UMBILICAIS

PEDRO HENRIQUE PREZA DA SILVEIRA COSTA

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Naval e Oceânico.

Orientadora: Marta Cecilia Tapia Reyes

Rio de Janeiro
AGOSTO DE 2015



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Engenharia Naval e Oceânica



POLI/UFRJ

ANÁLISE DA CONEXÃO VERTICAL DIRETA NA INSTALAÇÃO DE LINHAS FLEXÍVEIS E UMBILICAIS

PEDRO HENRIQUE PREZA DA SILVEIRA COSTA

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO NALVAL E OCEÂNICO.

Aprovado por:

Prof.^aD.Sc.Marta Cecilia Tapia Reyes

Prof.D.Sc. Alexandre Teixeira de Pinho Alho

Prof.D.Sc. Severino Fonseca da Silva Neto

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2015

Costa, Pedro Henrique

Análise da conexão vertical direta na instalação de linhas flexíveis e umbilicais / Pedro Henrique Costa - Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2015

VIII, 55 p.: il.: 29,7 cm.

Orientador: Marta Cecilia Tapia Reyes

Projeto de Graduação - UFRJ/ POLI/ Engenharia Naval e Oceânica, 2015

Referências Bibliográficas: p.46.

1. Introdução 2. Estruturas 3. Equipamentos e acessórios 4. Instalação de linhas flexíveis 5. Conexão Vertical Direta (CVD) 6. O programa OrcaFlex 7. Estudo de caso: CVD no poço 9-LL-019 8. Conclusões 9.Referências

I. Tapia Reyes, Marta Cecilia. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Naval e Oceânica. III. Análise da conexão vertical direta na instalação de linhas flexíveis e umbilicais.

AGRADECIMENTOS

A minha família como um todo. Especialmente meus pais, Ralph e Flávia, irmãos, Raphaela e Victor Hugo, e mais uma pessoa muito especial na minha vida, Nilza, que sempre estiveram e sempre vão estar ao meu lado me apoiando e dando o suporte necessário para que eu alcance meus objetivos.

A minha namorada, Juliana, por todo companheirismo, paciência e carinho que sem dúvidas serviram de incentivo para que eu permanecesse focado e determinado a concluir esse desafio.

Ao meu primo, Guilherme, pelas várias horas de conversa, aprendizados e pelo ombro amigo que sempre esteve comigo.

A minha orientadora Marta, por todo auxílio prestado durante a elaboração deste projeto. Contribuindo com seu conhecimento, sua dedicação, sua paciência e suas correções.

Agradecimento aos companheiros de trabalho que desde que cheguei na empresa, sempre foram muito solícitos e sempre estiveram dispostos a me ajudar.

Aos professores da Engenharia Naval e Oceânica, que transmitiram o conhecimento necessário para eu chegar até aqui.

Ao grupo de alunos da Engenharia Naval e Oceânica, que em sua maioria está sempre disposto a colaborar para que todos nós alcancemos nossos objetivos. Em especial ao amigo Nicolas Xavier, que em praticamente todas as disciplinas e em momentos importantes esteve ao meu lado.

A todas as pessoas que, de certa forma, por menor que tenha sido, me auxiliaram nessa longa caminhada, sem dúvidas, todos serão lembrados. A minha felicidade depende não só de mim, mas de todos que estão a minha volta.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval e Oceânico.

Análise da conexão vertical direta na instalação de linhas flexíveis e umbilicais

Pedro Henrique Costa

Agosto/2015

Orientadora: Marta Cecília Tapia Reyes

Curso: Engenharia Naval e Oceânica

Devido a grande demanda e ao esgotamento das fontes de petróleo em águas rasas, atualmente estamos vivendo a realidade da necessidade de exploração de petróleo em águas profundas. Devido a esse fato, tornou-se estritamente indispensável o desenvolvimento de diversas tecnologias para viabilizar essa atividade. Dentre essas tecnologias, podemos citar o uso de dutos flexíveis, umbilicais e diversos equipamentos submarinos. Na instalação de dutos flexíveis e umbilicais, a conexão da extremidade da linha ao equipamento submarino é realizada através do MCV (módulo de conexão vertical). Esta conexão, por ser realizada em águas profundas, é delicada e requer uma análise prévia para que não haja nenhum empecilho que acarrete em dano aos equipamentos ou perda de tempo excessiva. A conexão no poço pode ser realizada em primeira ou segunda extremidade, dependendo do sentido de lançamento e instalação dos dutos. Para analisar as tensões e configurações na conexão ao poço, foi exposto um modelo teórico de cálculo e buscou-se sua validação através de um software de elementos finitos. Com a validação dos modelos foi possível observar as variações de tensão e configuração dependendo do tipo de duto flexível ou umbilical, justificando a necessidade de precisão durante a instalação.

Palavras-chave: Linhas Flexíveis, Umbilicais, Módulo de Conexão Vertical (MCV), Elementos Finitos, Conexão Vertical Direta (CVD)

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Naval Engineer.

Analysis of vertical connection in the installation of flexible lines and umbilicals

Pedro Henrique Costa

August/2015

Advisor: Marta Cecília Tapia Reyes

Course: Naval Engineering

We are currently living in a reality, where there is a necessity of the exploration of oil and gas in the deep water of our planet as a result of the huge demand and depletion of the source of oil and gas in shallow water. Due to this fact, the development of various technologies is extremely necessary to enable this activity. Amongst these technologies we can quote the use of flexible lines, umbilicals and submarine's equipment. On the installation of flexible lines and umbilicals, the connection of the end of the line to the submarine's equipment is held through the VCM (Vertical Connection Module). This connection is delicate, because it is held in deep waters, and it requires a analysis that will make sure that there is not any trammels which would result in a damage to the equipment or to the loss of excessive time. The connection on the well can be held in first or second end, depending on the way that it is released and on the way the lines are installed. To review the tensions and configurations on the well's connection, a theoretical model is exposed and its validation is searched in a software where it has a certain amount of elements. After the validation of the models, to justify the necessity of being accurate during the installation, we could observe the variations of tension and configuration depending on the flexible line or umbilical.

keywords: Flexible Lines, Umbilicals, Vertical Connection Module (VCM), finite elements, vertical connection.

GLOSSÁRIO

Flowline – Trecho estático de linha flexível apoiada no fundo do mar.

Heave Compensator – Equipamento utilizados nos guindastes que servem para compensar o efeito de uma onda e diminuir a variação de altura na instalação de algum equipamento no fundo do mar.

Moonpool – Abertura localizada no casco do navio, no qual é utilizado para lançar dutos ou equipamentos submarinos.

Outboarding – Operação de passagem da linha ou equipamento pela roda de lançamento do navio.

Riser – Trecho dinâmico de linha flexível que interliga o sistema submarino a unidade de produção.

CVD – Conexão Vertical direta. Conexão do duto flexível no poço utilizando o Módulo de conexão vertical (MCV)

MCV – Módulo de Conexão Vertical. Equipamento submarino que possibilita a operação de CVD.

FPSO – *Floating Production Storage and Offloading* – Unidade de produção, armazenagem e transferência.

PLSV – *Pipelay Support Vessel* – Navio de lançamento de dutos.

ROV – Remotely Operated Vehicle – Veículo operado remotamente.

BAP – Base Adaptadora de Produção. Equipamento submarino utilizado na exploração de petróleo.

ANM – Árvore de Natal Molhada. Equipamento submarino instalado no poço que possibilita a exploração de petróleo.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1.	MOTIVAÇÃO.....	9
2.	DUTOS FLEXÍVEIS	11
2.1.	ESTRUTURA.....	11
2.1.1.	<i>Dutos Flexíveis</i>	<i>11</i>
2.1.2.	<i>Umbilicais</i>	<i>13</i>
2.2.	EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS	14
2.2.1.	<i>Conector ou Armor Pot</i>	<i>14</i>
2.2.2.	<i>Restritor de curvatura.....</i>	<i>15</i>
2.2.3.	<i>Base Adaptadora de Produção e Árvore de Natal Molhada</i>	<i>15</i>
2.2.4.	<i>Módulo de Conexão Vertical (MCV).....</i>	<i>16</i>
2.3.	INSTALAÇÃO DE LINHAS FLEXÍVEIS	16
2.3.1.	<i>Tipo de lançamento</i>	<i>16</i>
2.3.2.	<i>Armazenamento</i>	<i>18</i>
2.3.3.	<i>Equipamentos de um PLSV.....</i>	<i>19</i>
2.3.3.1.	<i>Tensionadores</i>	<i>19</i>
2.3.3.2.	<i>Guinchos.....</i>	<i>20</i>
2.3.3.3.	<i>Guindastes.....</i>	<i>20</i>
3.	CONEXÃO VERTICAL DIRETA (CVD).....	21
3.1.	OPERAÇÃO.....	21
3.1.1.	<i>Conexão Vertical Direta em primeira extremidade.....</i>	<i>21</i>
3.1.2.	<i>Conexão Vertical Direta em segunda extremidade.....</i>	<i>24</i>
3.2.	ESTUDO DA CONEXÃO VERTICAL DIRETA	26
3.2.1.	<i>Equilíbrio dos Momentos</i>	<i>26</i>
3.2.2.	<i>Equilíbrio das Forças</i>	<i>28</i>
3.2.3.	<i>Flexão do duto flexível ou umbilical.....</i>	<i>28</i>
3.3.	FERRAMENTA DE MODELAÇÃO (PROGRAMA ORCAFLEX)	30
4.	ESTUDO DE CASO: CVD NO POÇO 9-LL-019.....	33
4.1.	PROCESSO DE ANÁLISE	33
4.2.	DADOS DE ENTRADA.....	35
4.3.	CÁLCULOS E RESULTADOS	36
4.4.	ANÁLISE DE RESULTADOS	43
5.	CONCLUSÕES	45
6.	REFERENCIAS	46
ANEXO 1 - DADOS DA PLATAFORMA E DO CAMPO		47
ANEXO 2 - DADOS DO DUTO FLEXÍVEL E ACESSÓRIOS		49

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Devido ao acelerado crescimento da demanda de derivados de petróleo e gás natural, temos como consequência a expansão da área de exploração desses compostos. Com isso, ocorre a descoberta de óleo e gás em profundidades cada vez maiores. Para que seja possível essa exploração, novas tecnologias devem ser desenvolvidas. Dentre essas tecnologias, podemos encontrar unidades de produção flutuantes, novos equipamentos submarinos e a utilização de dutos flexíveis.

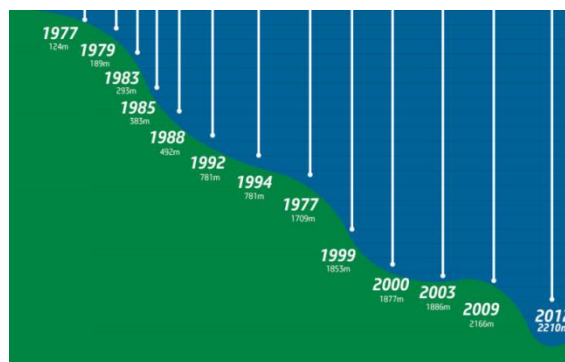


Figura 1-1 - Profundidade da exploração de óleo e gás ao longo dos anos

O cenário brasileiro com petróleo em grandes profundidades fez com que os dutos flexíveis ganhassem espaço muito rapidamente, pois os mesmos apresentam maior capacidade de absorver grandes curvaturas, mantendo sua integridade e rigidez axial. Além disso, podemos citar como grande vantagem a versatilidade que os dutos flexíveis possuem, já que podem ser reaproveitados após o término da produção em um determinado poço.

Uma das classificações dos dutos é devido ao local de operação. Nesse aspecto os dutos podem ser classificados como *Onshore* ou *Offshore*. Os dutos *Onshore* são aqueles utilizados em terra e encontram-se nas refinarias e terminais fazendo a ligação entre tanques, entre o recebimento e carregamento dos navios, entre terminais e no fornecimento para o mercado consumidor. Os dutos *Offshore* são os que fazem a ligação no mar entre os poços e *manifolds*, entre os poços e as plataformas, entre plataformas ou ainda entre a plataforma e um terminal terrestre.

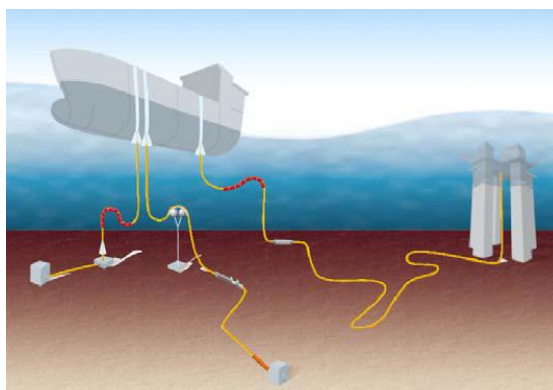


Figura 1-2 - Dutos flexíveis Offshore

Além dos dutos flexíveis existem os umbilicais, que são utilizados para o controle dos equipamentos submarinos da superfície. Os umbilicais são formados, em geral, por cabos elétricos e mangueiras hidráulicas.

A instalação dos dutos flexíveis e cabos umbilicais é realizado por navios do tipo tipo lançador de linhas, *Pipelay Support Vessel* doravante denominado PLSV. O convés dessas embarcações é tomado por equipamentos como guinchos, guindastes e tensionadores. Estes equipamentos são estritamente necessários para as instalações.



Figura 1-3 - PLSVs na Bacia de Santos

Durante a instalação dos dutos flexíveis e umbilicais em águas profundas, uma das partes mais críticas é a conexão no poço. Isso ocorre devido a profundidade e aos movimentos e esforços os quais a linha está exposta. A conexão com o poço é conhecida como Conexão Vertical Direta (CVD) e é realizada com o Módulo de Conexão Vertical (MCV).

O objetivo deste trabalho é analisar a CVD como um todo. Iremos verificar casos onde os equipamentos submarinos estarão expostos a maiores tensões e a maiores possibilidades de falhas na operação. Para isso será realizada uma exposição teórica seguida da análise do processo de instalação de linhas flexíveis utilizando um software especializado.

No capítulo 2 serão abordadas questões gerais sobre os dutos flexíveis e umbilicais, como por exemplo a estrutura dos mesmos, os equipamentos submarinos e acessórios utilizados durante seu lançamento e os navios de lançamento de dutos flexíveis em geral.

No capítulo 3 será exposta, mais especificamente, a operação de conexão vertical direta. O estudo será iniciado pela parte operacional em seguida será explorada a modelação matemática e a modelação através de um software específico dessa operação.

No capítulo 4 teremos um estudo de caso, utilizaremos dados reais para validarmos as ferramentas criadas. Também será realizada uma comparação entre resultados obtidos no modelo matemático e os obtidos utilizando o software Orcaflex.

2. Dutos flexíveis

São mangotes especiais empregados em atividades de produção, em plataformas baseadas em sistemas flutuantes tais como plataformas semi-submersíveis ou navios. Sua estrutura é composta por várias camadas sobrepostas ou concêntricas, possibilitando uma baixa rigidez à flexão. Este tipo de configuração possibilita alcançar um raio de curvatura muito menor que uma estrutura rígida. Um duto ou linha flexível apresenta rigidez de flexão aproximadamente 100 vezes menor que um duto rígido e rigidez axial aproximadamente 10 vezes menor.

Quando utilizado para transporte de óleo/gás/água são chamados de linhas ou risers flexíveis e quando utilizados para transporte de fluidos de controle hidráulico/controlado elétrico ou ótico são chamados de cabos umbilicais.

As principais características das estruturas flexíveis (linhas e umbilicais) são:

- A estrutura é projetada de acordo com o carregamento solicitante, de modo que a estrutura flexível pode ser otimizada para uma aplicação específica.
- São complacentes em aplicações dinâmicas, sendo assim utilizadas em unidades flutuantes;

Dependendo da sua fabricação os risers flexíveis podem ser classificados de bonded ou unbonded: unbonded quando as camadas não são coladas e portanto possuem movimentos relativos e bonded quando as camadas são coladas e integradas por um material elastomérico (borracha vulcanizada).

2.1. Estrutura

Como já dito anteriormente, temos os dutos flexíveis, que são usados para o transporte de óleo, água ou gás, e os cabos umbilicais, que são utilizados basicamente para controle. Nessa seção iremos explorar a estrutura dos dutos flexíveis e cabos umbilicais.

2.1.1. Dutos Flexíveis

Os dutos flexíveis são estruturas constituídas principalmente por camadas poliméricas e metálicas, onde cada camada atua com uma determinada função e movimentam-se de acordo com os esforços aplicados ao duto. Por isso, os dutos flexíveis levam uma grande vantagem sobre os dutos rígidos quando comparados dinamicamente, já que possuem maior resistência a flexão.

As camadas deste tipo de duto são: carcaça metálica intertravada, barreira de vedação, armadura de pressão, armadura de tração e capa externa, podendo existir camadas intermediárias de plástico e proteção antiabrasiva na parte mais externa. Na figura 2-1 pode-se observar uma seção típica de um duto flexível.

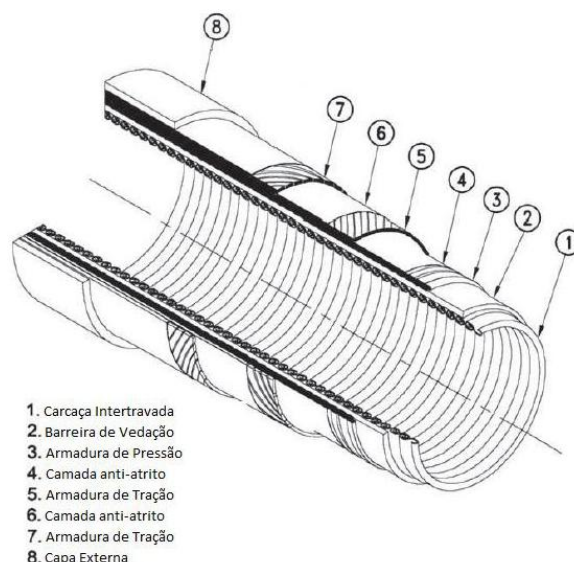


Figura 2-1 - Seção típica de um duto flexível

● **Carcaça Metálica Intertravada** - tem como principal função resistir ao colapso quando o duto é submetido a pressão externa, seja hidrostática ou por esforços oriundos do lançamento e/ou pelas armaduras de tração. É composta por uma fita de aço intertravada, enrolada em um ângulo próximo de 90 graus e é fabricada através do dobramento das fitas metálicas onde são enroladas helicoidalmente. Em função das camadas serem intertravadas, há um aumento significativo da resistência ao colapso, além do aumento da rigidez axial do duto.

● **Barreira de Vedação** - é uma camada polimérica depositada por extrusão sobre a carcaça interna. Sua função é vedação interna, ou seja, tem como objetivo impossibilitar que o fluido passe para as camadas superiores, o material deve ter resistência térmica e química ao fluido transportado, o material mais utilizado é a poliamida.

● **Armadura de pressão** - sua principal função é sustentar os esforços radiais, oriundos da barreira de pressão e/ou pela armadura de tração. É confeccionada com aço cujo perfil pode ser Z, C ou T, de acordo com o fabricante. Os diferentes tipos de armaduras de pressão podem ser visualizados na figura 2-2.

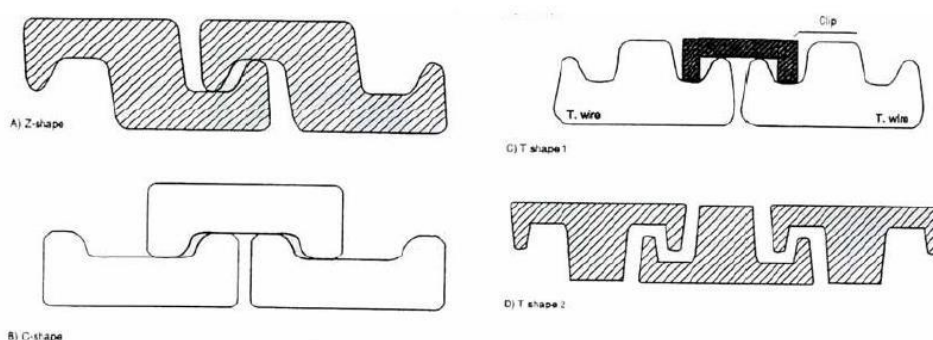


Figura 2-2 - Diferentes tipos de armadura de pressão

- **Camada Intermediária de Plástico (anti atrito)** - tem como função diminuir o atrito entre as camadas de aço, com o objetivo de reduzir a abrasão das mesmas no caso de utilização da linha sobre carregamentos dinâmicos como os *risers*.

- **Armadura de tração** – são duas camadas de aço enroladas em sentidos opostos, balanceados a fim de evitar que o duto flexível sofra torção ao receber algum carregamento. A principal função da armadura de tração é resistir a tração. Sua fabricação é feita com dois tipos de perfis retangular ou cilíndrico. As armaduras de seção retangular geralmente são utilizadas em dutos, para permitir um melhor assentamento das camadas de modo que a resistência seja maior, enquanto as armaduras de seção transversal cilíndricas são utilizadas em cabos umbilicais, devido à conformação ser mais simples e ao seu menor peso. Os principais modos de falha na armaduras são a flambagem (quando o duto é comprimido) e a ruptura por fadiga.

- **Capa externa** - tem como principais funções proteger a camada da estrutura contra a corrosão ou abrasão, unir as subcamadas das armaduras e evitar que a água do mar entre nas camadas inferiores. Normalmente é feita de polietileno de alta densidade. Esta capa polimérica é depositada por extrusão.

2.1.2. Umbilicais

O umbilical é um conjunto de mangueiras que transportam fluidos hidráulicos e injeção química, e cabos elétricos transmissores de sinais e potência. A estrutura dos umbilicais se assemelha à estrutura de um duto flexível, com camadas poliméricas e metálicas, porém, seu núcleo é muito diferente do núcleo de um duto flexível.



Figura 2-3 - Cabo Umbilical

As principais aplicações dos Umbilicais são:

- Comando hidráulico das árvores de natal;
- Coleta de sinais de sensores de árvore de natal (transmissores de pressão e temperatura instalados no corpo de árvores e de sensores de fundo instalados dentro das colunas de produção);
- Comando hidráulico de válvulas submarinas de oleodutos e gasodutos de exportação;
- Transmissão de energia elétrica entre plataformas;
- Transmissão de energia hidráulica para acionamento de válvulas.

2.2. Equipamentos e Acessórios

Um duto flexível ou um umbilical pode possuir diversos acessórios e equipamentos. Como nosso foco nesse trabalho é a conexão entre a linha e o poço, vamos expor somente os acessórios e equipamentos relevantes para essa operação.

2.2.1. Conector ou *Armor Pot*

O conector é um acessório que serve, basicamente para conectar a extremidade de uma linha a outra extremidade ou equipamento. No caso dos dutos flexíveis, normalmente, o conector possui válvulas para alívio de gases. Já nos umbilicais, o nome utilizado para o tal acessório é *Armor Pot*. Ambos tem, basicamente, a mesma função, porém diferem bastante fisicamente. Nas figuras 2-4 e 2-5 podemos verificar as diferenças entre eles.



Figura 2-4 - Conector de um duto flexível



Figura 2-5 - *Armor Pot* de um Umbilical

2.2.2. Restritor de curvatura

Também conhecido como Vértebra, o restritor de curvatura tem a função de garantir que o raio mínimo da estrutura não seja alcançado. A vértebra, normalmente é utilizada quando temos a conexão da extremidade de uma linha a algum equipamento fixo. Nos dutos flexíveis, normalmente encontramos esse acessório próximo a conexão entre a extremidade final da linha e o módulo de conexão vertical. Já nos Umbilicais, além da situação já listada para os dutos flexíveis, podemos encontrar esse acessório próximo a conexão entre seus tramos. Na figura 2-6 podemos visualizar um restritor de curvatura



Figura 2-6 - Restritor de Curvatura

2.2.3. Base Adaptadora de Produção e Árvore de Natal Molhada

A BAP (Base Adaptadora de Produção) e a ANM (Árvore de Natal Molhada) são equipamentos submarinos que garantem a extração do óleo e gás de um poço. Basicamente são módulos compostos por diversas válvulas montados na cabeça do poço. Na BAP podemos verificar que, normalmente existem 3 *hubs*, um deles é para o duto flexível de produção, outro para o de injeção e o terceiro para o umbilical. Nas figura 2-7 podemos verificar a vista lateral de uma BAP e, além disso, como é a disposição da BAP e ANM na cabeça do poço.

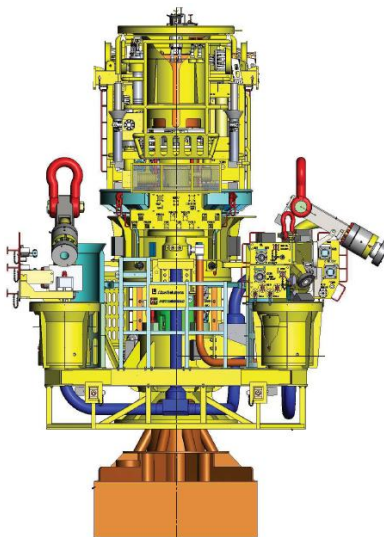


Figura 2-7 - BAP e ANM

2.2.4. Módulo de Conexão Vertical (MCV)

O módulo de conexão vertical é o equipamento que permite a conexão entre a extremidade final do duto flexível ou umbilical e o poço. Esse equipamento é conectado ao conector ou *armor pot* da linha. O navio realiza a descida do mesmo e o encaixa no *hub* da BAP específico para linha que está sendo lançada. Este equipamento possui alguns cuidados que devem ser levados em conta durante o lançamento, como por exemplo a carga suportada e o ângulo de entrada no hub da BAP. Na figura 2-8 podemos visualizar um MCV conectado a uma linha de injeção de água.



Figura 2-8 - Módulo de Conexão Vertical (MCV)

2.3. Instalação de linhas flexíveis

O navio do tipo PLSV é responsável pelo lançamento e instalação dos dutos flexíveis e umbilicais e possui diversos equipamentos para que seja possível a realização das operações *offshore*.

Hoje, no Brasil, temos diversos tipos de PLSV. Eles diferem entre si, principalmente pelo tipo de lançamento, que pode ser horizontal ou vertical. Além disso, o tipo de armazenamento das linhas também é um diferenciador desses navios.

2.3.1. Tipo de lançamento

Os PLSVs de lançamento horizontal tem seus tensionadores instalados na horizontal e o lançamento é feito através da roda de popa. Como a roda de popa é o último ponto de contato entre a linha e o navio, este equipamento também será um limitante da carga suportada pelo navio. Na figura 2-9 podemos visualizar um navio de lançamento horizontal.



Figura 2-9 - Navio de lançamento horizontal (Seven Condor)

Os navios de lançamento vertical possuem tensionadores na posição vertical. A grande diferença do navio de lançamento vertical para o de lançamento é a presença da torre de lançamento. O lançamento das linhas pode ser realizado por um dos bordos da embarcação ou por um *moonpool*.

Diferentemente do navio de lançamento horizontal, o navio de lançamento vertical tem como o último ponto de contato entre a linha e o navio, o próprio tensionador, por isso, a capacidade de carga de lançamento desse tipo de navio está relacionada a capacidade de carga do tensionador. Nas figuras 2-10 e 2-11, podemos visualizar dois navios de lançamento vertical, o primeiro deles apresenta lançamento pelo bordo da embarcação e o segundo por um *moonpool*.



Figura 2-10 - Navio de lançamento vertical pelo bordo (Seven Phoenix)



Figura 2-11 - Navio de lançamento vertical pelo moonpool (Seven Waves)

2.3.2. Armazenamento

Os dutos flexíveis e umbilicais podem ser armazenados em Cestas, Bobinas ou carretéis.

As cestas são localizadas nos porões do navio e tem uma capacidade maior de armazenamento. Esse tipo é o mais comum entre os navios.

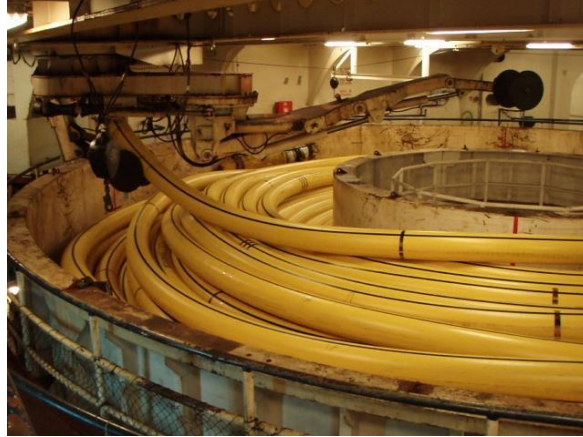


Figura 2-12 - Cesta de Armazenamento

As bobinas possuem uma capacidade de armazenamento menor que as cestas. As bobinas são localizadas no convés principal da embarcação. Uma grande vantagem desse tipo de armazenamento é a velocidade de seu carregamento, porém, uma grande desvantagem é a ocupação do convés principal da embarcação.



Figura 2-13 - Bobinas de armazenamento

Os carretéis se assemelham a bobina, porém com maior capacidade de armazenamento devido as suas dimensões. Assim como as bobinas, sua localização é no convés principal da embarcação, porém, ao contrario das bobinas, é posicionado verticalmente. Um ponto importante para esse tipo de armazenamento é que a linha deve ser enrolada tensionada.



Figura 2-14 - Carretel de Armazenamento

2.3.3. Equipamentos de um PLSV

No lançamento de dutos flexíveis e umbilicais, o principal requisito dos sistemas de lançamentos é suportar altas cargas de trações de topo. Quanto maior a lâmina d'água a embarcação deverá sustentar maior comprimento de duto. Dessa forma diversos equipamentos são exigidos para que seja possível efetuar o lançamento com tensionadores, guinchos, guindaste e equipamentos de suporte.

2.3.3.1. Tensionadores

São responsáveis pela sustentação da carga das linhas durante o lançamento. Geralmente, são utilizados dois tensionadores em série de forma a aumentar a capacidade de sustentação e lançamento dos dutos.



Figura 2-15 - Tensionador de um PLSV

2.3.3.2. Guinchos

São utilizados principalmente nas operações de *outboarding* de acessórios e extremidades dos dutos e descida da linha ou equipamento submarino. Os guinchos devem ter comprimento de cabo suficiente para o operar em lâminas d'água das operações propostas, além de ter capacidade de carga suficiente.



Figura 2-16 - Guincho de um PLSV

2.3.3.3. Guindastes

São utilizados para manuseio dos acessórios e equipamentos pesados, o guindaste deve ser certificado para operações *offshore*, geralmente possuem *heave compensator*, facilitando a realização de conexões verticais diretas nas bases adaptadoras de produção.

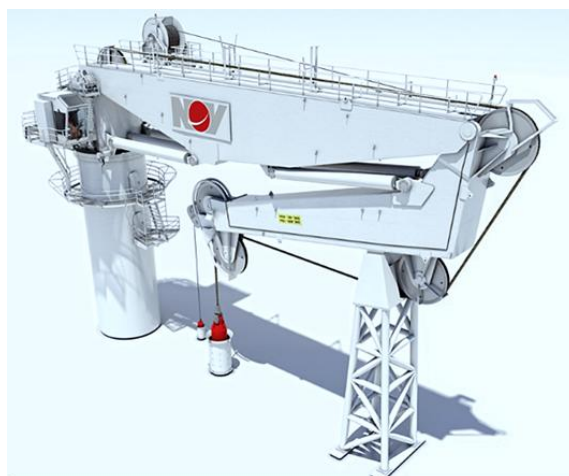


Figura 2-17 - Guindaste de um PLSV

Além dos equipamentos já citados, existem alguns outros que são essenciais durante o lançamento de dutos. O A-frame é de fundamental importância para as manobras de *outboarding* nos lançamentos pela popa. A mesa retrátil, as patescas e calhas de *outboarding*, colares mecânicos e hidráulicos são acessórios que devem estar disponíveis em qualquer navio de lançamento e são utilizados durante diversas operações.

3. CONEXÃO VERTICAL DIRETA (CVD)

A Conexão Vertical Direta, mais conhecida como CVD é a operação onde conectamos o duto flexível ou umbilical ao poço. Essa operação começa com a conexão do Módulo de Conexão Vertical (MCV) à extremidade da linha e termina com o assentamento do equipamento no *hub* específico da BAP do poço.

3.1. Operação

A CVD pode ser realizada em primeira extremidade ou segunda extremidade, dependendo do sentido de lançamento da linha. Iremos explorar como é a CVD na prática e iremos explicar as questões físicas e matemáticas envolvidas na operação.

3.1.1. Conexão Vertical Direta em primeira extremidade

A Conexão Vertical Direta em primeira extremidade, também conhecida como CVD de 1ª extremidade, normalmente acontece quando o lançamento da linha começa no poço e vai em direção a plataforma.

Nesse caso, teremos que a primeira extremidade da linha será conectada ao MCV na mesa de trabalho do PLSV, e iremos realizar o *outboarding* do equipamento com a carga sendo suportada pelo tensionador. Nesse momento ainda temos praticamente todo duto ou umbilical armazenado no navio.

Vale ressaltar que a conexão da extremidade da linha com o MCV é uma tarefa que requer muita cautela, já que o raio mínimo da estrutura não pode ser infringido.

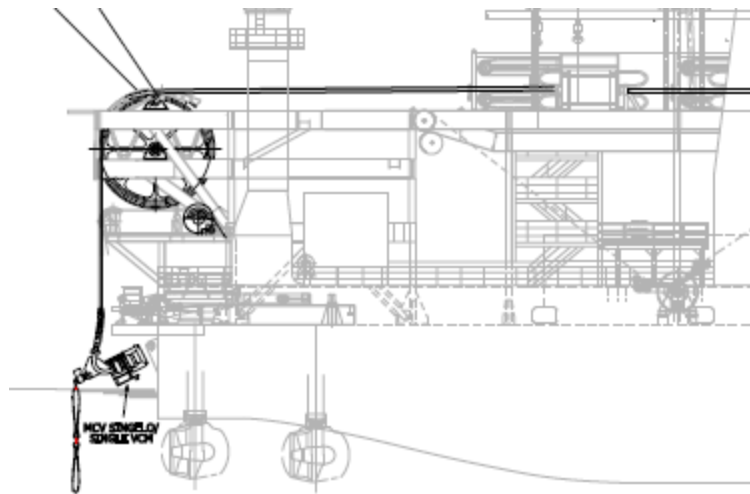


Figura 3-1 - Outboarding do MCV na CVD de 1ª extremidade

Será demonstrada toda a descida do equipamento com a carga sustentada pelos tensionadores do PLSV. No momento em que o MCV chega próximo ao fundo, o ROV conecta o cabo do guindaste a lingada montada no equipamento, e assim, transfere-se parte da carga para o guindaste do PLSV.

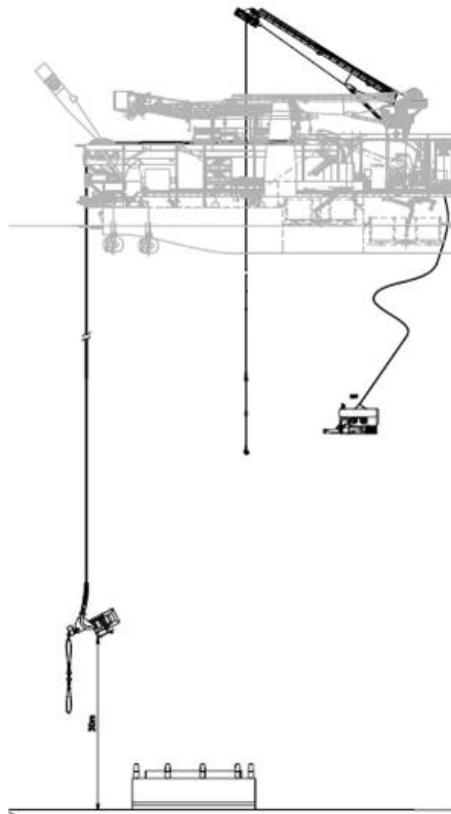


Figura 3-2 - MCV próximo ao fundo na CVD de 1ª extremidade

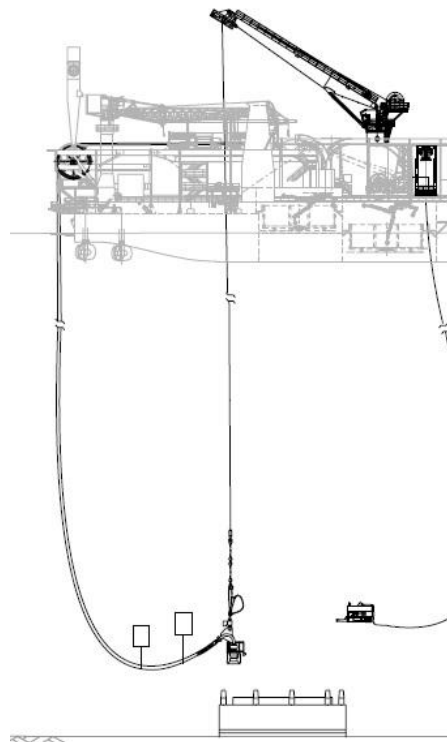


Figura 3-3 - Cabo do guindaste conectado a manilha do MCV

Com parte da carga transferida para o guindaste, o *Remotely Operated Underwater Vehicle* (ROV) auxilia tornando efetivo os flutuadores que irão auxiliar na CVD. Esses flutuadores irão auxiliar na verticalização do MCV e devem impedir que o raio mínimo de curvatura da estrutura seja atingido.

Com os flutuadores efetivos, é realizada a aproximação do equipamento a BAP e seu assentamento no respectivo hub.

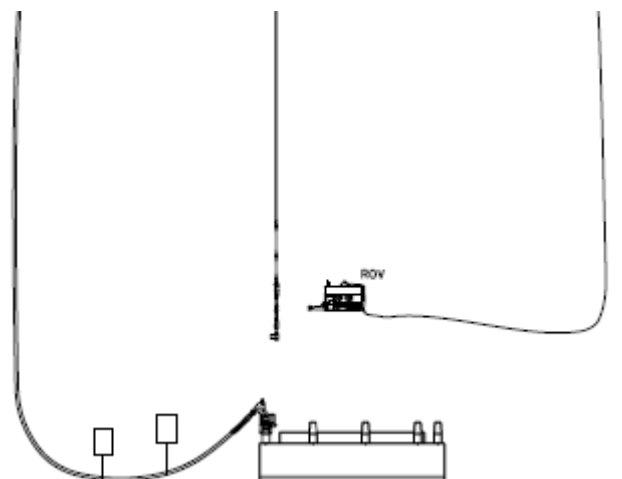


Figura 3-4 - MCV conectado ao equipamento submarino

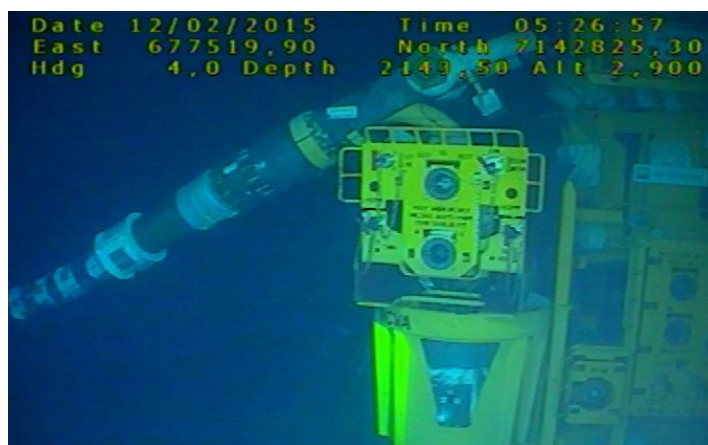


Figura 3-5 - MCV assentado no hub do equipamento submarino (Foto de um ROV)

Essa operação não expõe o MCV a cargas elevadas, já que, o equipamento só será exposto a cargas no momento que ocorrer a conexão com o guindaste. Neste caso, teremos uma carga relacionada a um pequeno comprimento de linha. Devido a esse fato, essa operação normalmente é realizada quando temos limitações de carga relacionadas ao MCV e o raio mínimo de curvatura da linha não é muito limitado.

3.1.2. Conexão Vertical Direta em segunda extremidade

A Conexão Vertical Direta em segunda extremidade, também conhecida como CVD de 2ª extremidade, normalmente acontece quando o lançamento da linha começa na plataforma e vai em direção ao poço.

Neste caso, teremos que a última extremidade da linha será conectada ao MCV na mesa de trabalho do PLSV, e iremos realizar o *outboarding* do equipamento com a carga sendo suportada por um guincho. Diferente da CVD de 1ª extremidade, a carga não pode ser suportada pelo tensionador, já que não há mais linha armazenada no navio. Outro ponto importante que vale ser citado, é o fato de a descida do equipamento ser realizada com o guincho e não com o guindaste que realizará o assentamento do mesmo na BAP. Isso ocorre, pois, na maioria dos PLSV o guindaste não possui capacidade de carga que suporte essa operação.

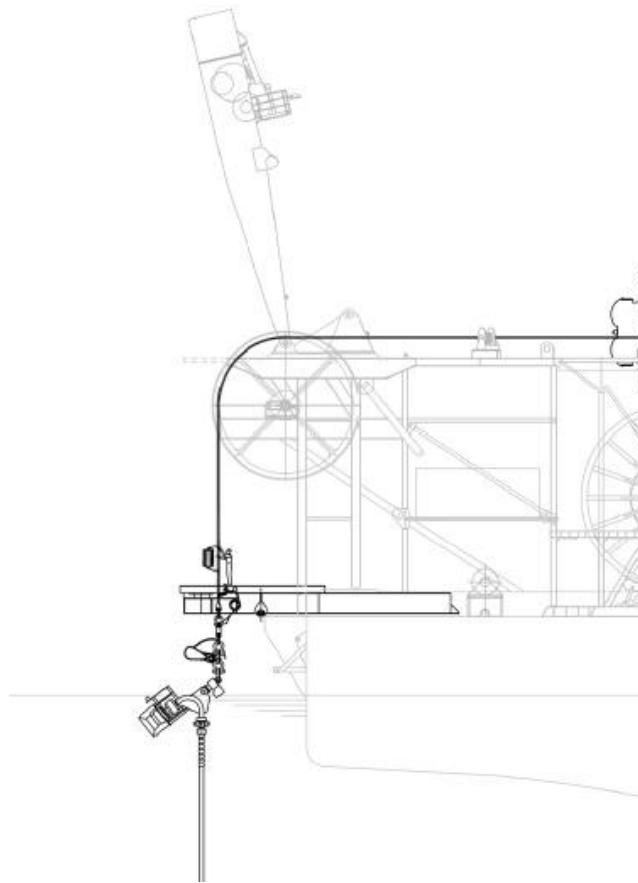


Figura 3-6 - *Outboarding* do MCV na CVD de 2ª extremidade

Toda a descida do equipamento é realizada com a carga sendo suportada pelo guincho do PLSV. Da mesma maneira que ocorre na CVD de 1ª extremidade, no momento em que o MCV chega próximo ao fundo, o ROV conecta o cabo do guindaste a lingada montada no equipamento, e assim, transfere-se toda a carga para o guindaste do PLSV.

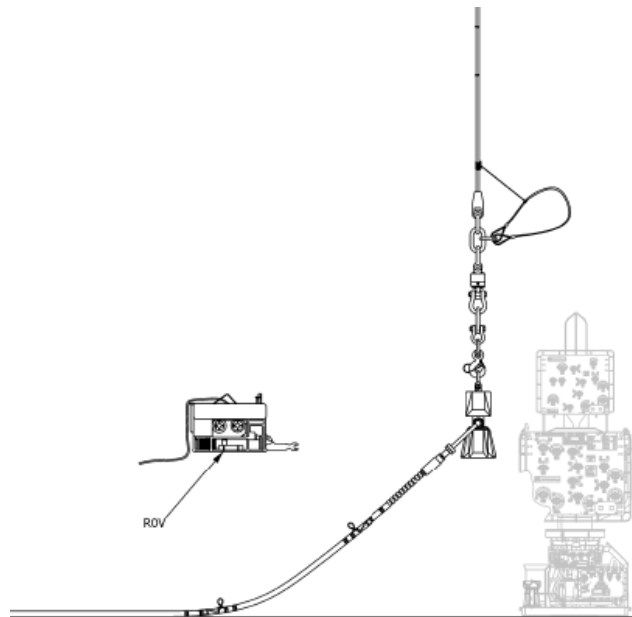


Figura 3-7 - MCV próximo ao fundo na CVD de 2ª extremidade

Com a carga transferida para o guindaste, o ROV conecta o cabo do guincho às alças montadas na linha para a formação da corcova. A corcova possui a mesma função dos flutuadores na CVD de 1ª extremidade, ou seja, a corcova deve garantir que o MCV seja verticalizado e que o raio mínimo de curvatura da estrutura não seja atingido.

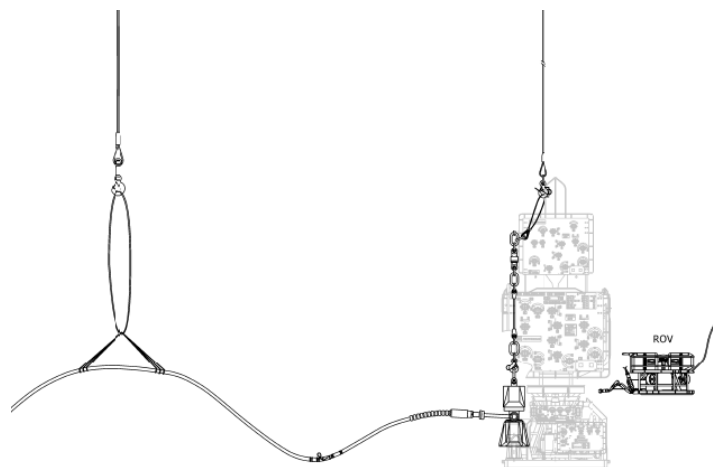


Figura 3-8 - Momento da CVD de 2ª extremidade

Diferente da conexão vertical direta em primeira extremidade, o CVD de 2ª extremidade expõe o MCV a cargas muito elevadas. Pois o mesmo deve suportar toda a carga da catenária no momento em que é realizado o *outboarding*. Porém, as operações relacionadas a conexão vertical direta em segunda extremidade não provocam grandes curvaturas na linha. Isso faz com que essa operação seja adequada as linhas que possuem raio mínimo de curvatura mais restrito e o MCV suporta cargas maiores.

Um ponto importante, tanto para a CVD de 1ª extremidade quanto para a CVD de 2ª extremidade, é o travamento do restritor de curvatura. Antes de realizar o assentamento do MCV na BAP, deve-se verificar se a vértebra está travada, já que isso será um indicativo de que o raio mínimo de curvatura da linha foi atingido. Em nenhuma hipótese pode-se realizar o assentamento do MCV com a vértebra travada, pois isso poderá causar danos a linha ou aos equipamentos submarinos.

3.2. Estudo da conexão vertical direta

Durante as operações de CVD, podemos perceber conceitos como por exemplo equilíbrio de forças e momentos, flexão pura e rigidez a flexão. Nessa etapa será feita uma análise de como será feita a modelagem da operação.

3.2.1. Equilíbrio dos Momentos

O nosso estudo se inicia com o equilíbrio de momentos durante a CVD. Nas figuras 3-9 e 3-10, pode-se verificar todas as forças que estão atuando no conjunto duto e equipamento. A origem escolhida será o ponto de pega do guindaste do PLSV, ou seja, as distâncias utilizadas para o cálculo dos momentos atuantes serão a distância do centro de gravidade do acessório ou duto até a manilha do MCV. Tal ponto foi escolhido como origem devido ao fato de não podermos precisar a força que estará atuando no mesmo.

A figura 3-9 refere-se às forças na conexão vertical direta em primeira extremidade e a figura 3-10 refere-se às forças na conexão vertical direta em segunda extremidade. A grande diferença entre ambas é o uso de flutuadores, no caso da CVD de 1ª extremidade, e corcova sustentada por um guincho do PLSV, no caso da CVD de 2ª extremidade.

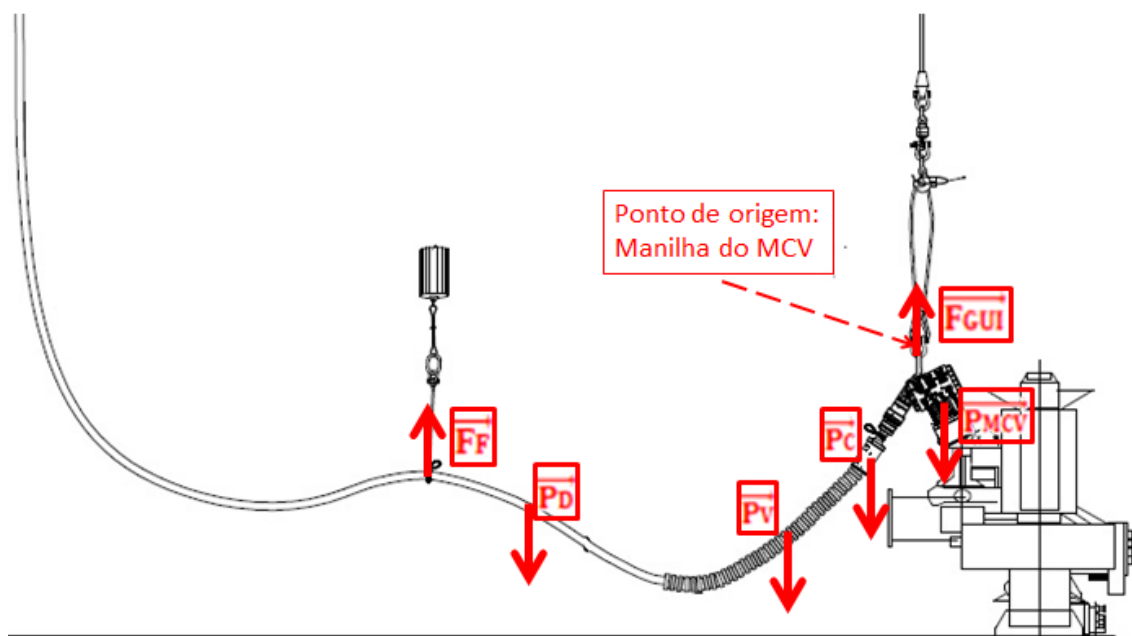


Figura 3-9 - Forças atuantes durante a CVD de 1ª extremidade

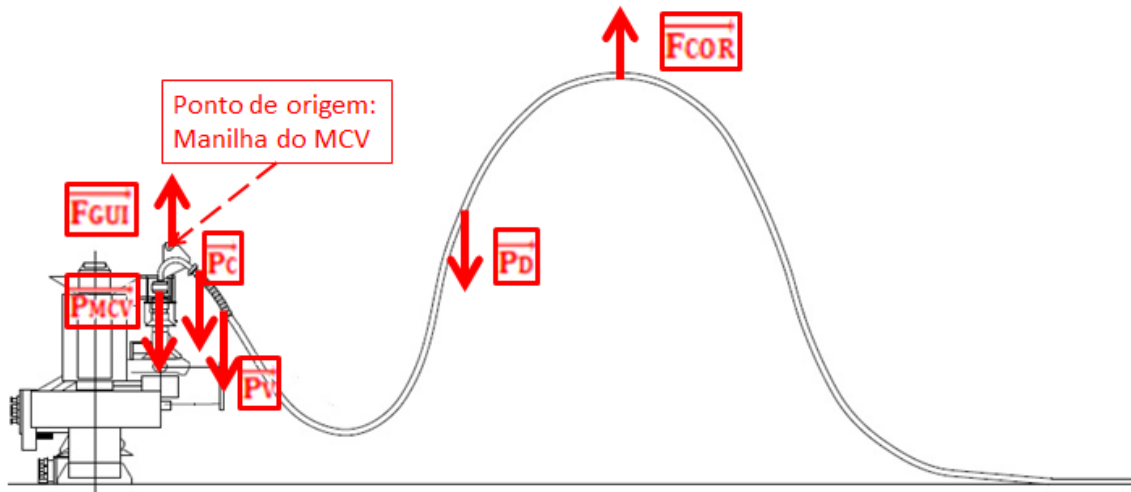


Figura 3-10 - Forças atuantes durante a CVD de 2ª extremidade

Onde, temos:

- \vec{P}_{MCV} = Peso do módulo de conexão vertical;
- \vec{P}_C = Peso do conector;
- \vec{P}_V = Peso da vértebra;
- \vec{P}_D = Peso do duto;
- \vec{F}_{COR} = Força aplicada na corcova;
- \vec{F}_F = Força do flutuador (Empuxo);
- \vec{F}_{GUI} = Força aplicada pelo Guindaste do PLSV durante a CVD;
- D_{MCV} = distância do Centro de Gravidade (CG) do MCV à manilha do MCV;
- D_C = Distância do CG do conector à manilha do MCV;
- D_V = Distância do CG da vértebra à manilha do MCV;
- D_D = Distância do CG da parte suspensa do duto à manilha do MCV;
- D_{COR} = Distância do ponto de atuação da \vec{F}_{COR} à manilha do MCV;
- D_F = Distância do ponto de atuação da \vec{F}_F à manilha do MCV.

Pelo somatório dos Momentos teremos para a CVD de 1ª extremidade:

$$\sum M_x = 0 \quad (\text{Equação 1})$$

$$\vec{P}_{MCV} \times D_{MCV} + \vec{P}_C \times D_C + \vec{P}_V \times D_V + \vec{P}_D \times D_D + \vec{F}_F \times D_F = 0 \quad (\text{Equação 2})$$

É importante ressaltar que na maioria dos casos devemos utilizar mais de um flutuador durante a CVD de 1ª extremidade. Por isso, podemos ter mais componentes na equação acima.

Os flutuadores usados nessa operação possuem valores conhecidos, assim, as equações acima nos auxiliarão a encontrar a cota na qual os mesmos devem ser instalados.

Vamos agora analisar a CVD de 2ª extremidade, pelo somatório dos Momentos teremos:

$$\sum M_x = 0 \quad (\text{Equação 1})$$

$$\vec{P}_{MCV} \times D_{MCV} + \vec{P}_C \times D_C + \vec{P}_V \times D_V + \vec{P}_D \times D_D + \vec{F}_{COR} \times D_{COR} = 0 \quad (\text{Equação 3})$$

Nessa situação, temos a distância do ponto de atuação da F_{COR} à manilha do MCV porém não temos a $\overrightarrow{F_{COR}}$. Com auxílio das equações acima poderemos definir $\overrightarrow{F_{COR}}$.

É válido destacar que em nenhum dos casos a $\overrightarrow{F_{GUI}}$ foi considerada, já que teremos essa força aplicada no ponto considerado como a origem.

3.2.2. Equilíbrio das Forças

Dando prosseguimento ao estudo será analisado o equilíbrio das forças. Essa etapa é de extrema importância para definir a $\overrightarrow{F_{GUI}}$. Essa força será de extrema importância para a próxima etapa onde será definido o momento provocado pela mesma, e consequentemente o raio de curvatura que o duto ou flexível estará exposto.

Seguem-se as fórmulas para a conexão vertical direta em primeira extremidade:

$$\sum F_Y = 0 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\overrightarrow{P_{MCV}} + \overrightarrow{P_C} + \overrightarrow{P_V} + \overrightarrow{P_D} + \overrightarrow{F_F} + \overrightarrow{F_{GUI}} = 0 \quad (\text{Equação 5})$$

Para a conexão vertical direta em segunda extremidade:

$$\sum F_Y = 0 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\overrightarrow{P_{MCV}} + \overrightarrow{P_C} + \overrightarrow{P_V} + \overrightarrow{P_D} + \overrightarrow{F_{COR}} + \overrightarrow{F_{GUI}} = 0 \quad (\text{Equação 6})$$

Nota-se que a diferença básica entre as operações descritas é a utilização do flutuador ou corcova, isso é refletido em todas as equações descritas acima.

Satisfeita a equação relacionada ao equilíbrio das forças, chega-se ao valor da aplicada pelo Guindaste do PLSV durante a CVD. O valor dessa força será aplicado para a análise do raio de curvatura que o duto ou flexível estará exposto.

3.2.3. Flexão do duto flexível ou umbilical

Quando um corpo está submetido a um momento, pode-se afirmar que esse corpo está sob flexão. Todas as equações expostas nessa seção são válidas para corpos em flexão, dentro do regime elástico. Quando se trata de flexão, denomina-se o momento envolvido nessa situação de momento fletor.

O objetivo nessa etapa é encontrar o raio de curvatura do duto durante a CVD. Considerando o conceito inicial que relaciona o raio de curvatura a uma deformação específica longitudinal. Todos os conceitos apresentados nesse capítulo foram retirados da Referência [13].

De acordo com a referência citada, teremos:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_m}{c} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

- ρ = Raio de Curvatura;
- ε_m = Deformação específica longitudinal;
- c = distância entre a superfície do duto e a superfície neutra.

A superfície neutra citada anteriormente é uma superfície imaginária inferior a face superior e superior a face inferior do duto, onde ε_m e σ_m se tornam nulas.

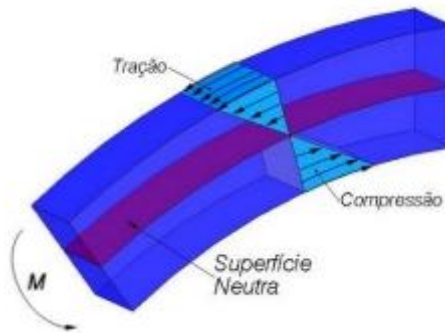


Figura 3-11 - Superfície neutra

Além disso, sabemos que:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_m}{Ec} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

- σ_m = Tensão Máxima;
- E = Módulo de Elasticidade.

Sabemos também que:

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

- I = Momento de Inércia de Área;
- M = Momento Fletor.

Substituindo a equação 9 na equação 8, teremos:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{Mc}{EI} \quad (\text{Equação 10})$$

Simplificando a equação 10, teremos:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (\text{Equação 11})$$

Como nas informações relacionadas a dutos flexíveis e umbilicais é comum o fornecimento do valor de rigidez a flexão do produto, este conceito será abordado também, para a simplificação das equações de forma mais eficiente.

Chamaremos a rigidez a flexão de "k", a mesma pode ser calculada através da equação 12.

$$k = EI \quad (\text{Equação 12})$$

Substituindo a equação 12 na equação 11 citada anteriormente, pode-se chegar a:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{k} \quad (\text{Equação 13})$$

Neste ponto o importante é o raio de curvatura do duto flexível. A equação 13 será disposta para facilitar o cálculo na forma abaixo:

$$\rho = \frac{k}{M} \quad (\text{Equação 14})$$

Dessa forma, os conhecimentos necessários para a análise completa da conexão vertical direta em primeira extremidade e para a análise completa da conexão vertical direta em segunda extremidade foram expostos.

3.3. Ferramenta de modelação (Programa Orcaflex)

O OrcaFlex é um programa desenvolvido pela Orcina para análises estáticas e dinâmicas de sistemas de dutos e cabos flexíveis. Esse programa é amplamente utilizado na indústria *offshore* para análise de *risers* flexíveis de unidades marítimas de produção, lançamento de linhas, instalação de equipamentos submarinos, amarrações oceanográficas, análise da conexão vertical direta, instalação de boias para *lazy-wave* e muitas outras ocasiões.

Como nosso foco é a conexão vertical direta, será explicitado qual deve ser a metodologia utilizada para a análise dessa operação. Como já citado anteriormente, essa análise é de extrema importância para evitar danos aos equipamentos e perda de tempo excessivo durante a operação.

Para esse tipo de análise, o modelo criado no software OrcaFlex é basicamente composto por um elemento de "line", para representar o duto flexível ou umbilical, um elemento "link", para representar o cabo do guindaste do PLSV, elementos "3D Buoy", para representar os flutuadores instalados na linha e um elemento "6D Buoy", para representar o MCV. Para melhor visualização, os elementos citados anteriormente são expostos na figura 3-12.

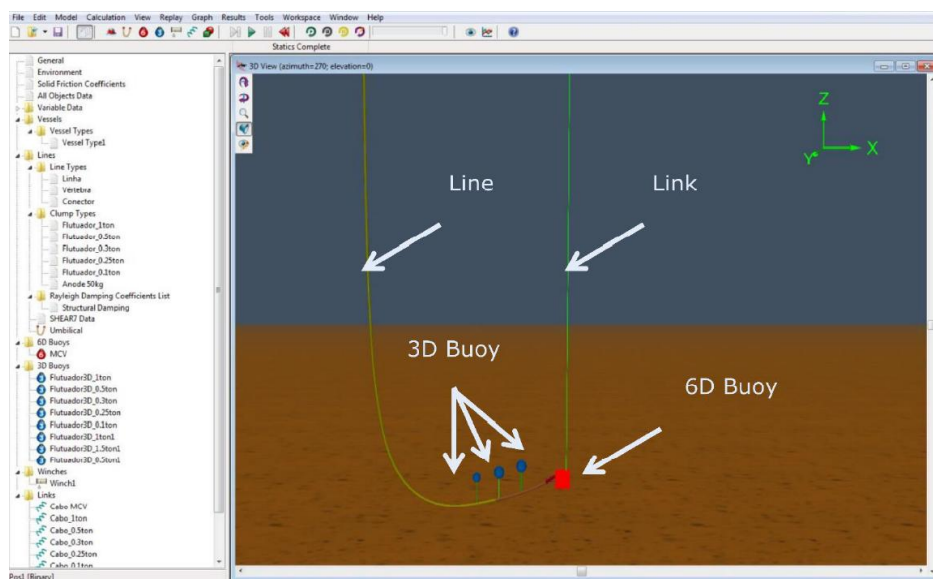


Figura 3-12 - Modelo em OrcaFlex para análise de CVD de 1ª extremidade

A análise da CVD pode ser dividida em três etapas. Em cada etapa deve-se verificar os pontos críticos específicos da operação. As etapas da análise são:

1. MCV livre e verticalizado, logo antes do assentamento

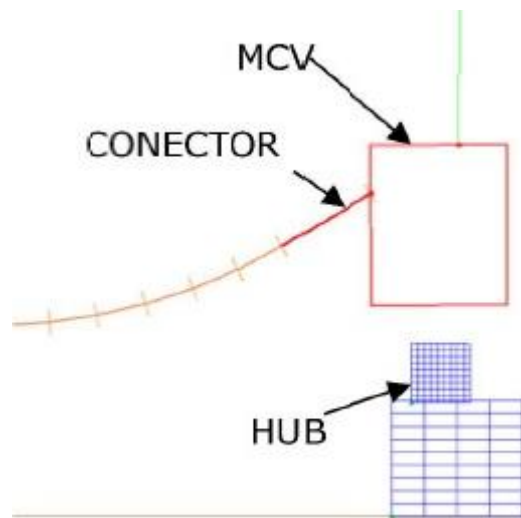


Figura 3-13 - Primeira etapa da análise da CVD utilizando OrcaFlex

Nesta etapa, os fatores críticos são o momento fletor na vértebra e o raio mínimo de curvatura da linha.

2. MCV assentado e duto flexível ou umbilical ainda suspenso

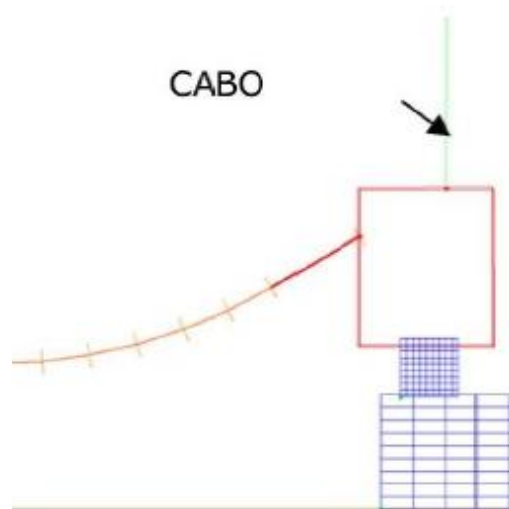


Figura 3-14 - Segunda etapa da análise da CVD utilizando OrcaFlex

Os fatores críticos são o momento fletor na vértebra e o momento fletor na conexão entre a extremidade da linha e o MCV.

3. MCV assentado e duto flexível ou umbilical no fundo

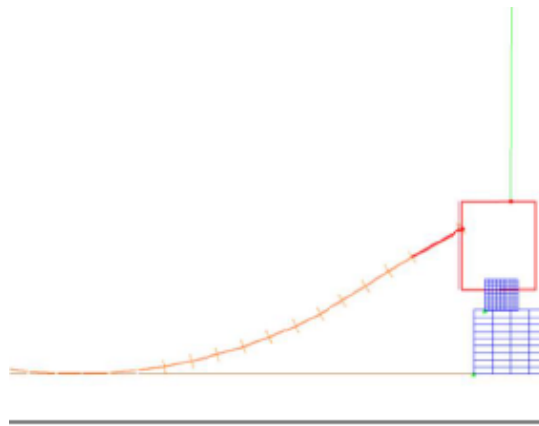


Figura 3-15 - Terceira etapa da análise da CVD utilizando OrcaFlex

Percebeu-se que os fatores críticos são o momento fletor no equipamento instalado no fundo.

4. ESTUDO DE CASO: CVD no Poço 9-LL-019

O estudo de caso proposto nesse projeto é a de instalação de uma linha de injeção de água ligando o *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) Cidade de Paraty ao poço 9-LL-019 situado no campo de Lula Nordeste na Bacia de Santos.



Figura 4-14 - FPSO Cidade de Paraty

4.1. Processo de análise

Como início da análise que será realizada, devemos aplicar os conceitos físicos expostos no capítulo 3.2 e posteriormente faremos uma análise utilizando o software específico OrcaFlex, utilizando a modelação exposta no capítulo 3.3.

A aplicação dos conceitos físicos descritos anteriormente acarreta em um processo iterativo, já que é necessária uma variação na posição dos flutuadores que auxiliarão durante a operação. Essa variação é realizada com o objetivo de obtermos o equilíbrio dos momentos. Como se trata de um processo iterativo, foi desenvolvida uma planilha em excel onde esse processo é realizado.

Na planilha desenvolvida, devemos entrar com os dados relativos aos pesos e centros de gravidade dos equipamentos e acessórios que serão utilizados na operação. Através da ferramenta desenvolvida no excel, as iterações são realizadas automaticamente e consequentemente o resultado final.

Vale ressaltar que durante as iterações são respeitados critérios como distância entre flutuadores e distância dos flutuadores aos equipamentos e acessórios do duto flexível.

Na tabela 4-1 pode-se observar os dados de entrada que são necessários para a planilha realizar os cálculos.

Tabela 4-1 - Dados do duto, acessórios e equipamentos

Dados de entrada		
MCV		
Massa do MCV		kg
Distância do CG		m
Comprimento		m
Conector		
Massa		kg
Comprimento		m
Vértebra		
Massa		kg
Comprimento		m
Raio mínimo		m
Duto		
Massa específica		kg/m
Comprimento		m
Rigidez a Flexão		KN/m ²

Na figura 4-2 pode-se verificar como é a disposição dos dados de entrada na planilha desenvolvida.

Dados de entrada										
MCV			Conector			Vértebra			Duto	
Massa do MCV		kg	Massa		kg	Massa		kg	Massa específica	kg/m
Distância do CG		m	Comprimento		m	Comprimento		m	Comprimento	m
Comprimento		m				Raio mínimo		m	Rigidez a Flexão	KN/m²

Número de flutuadores utilizados		
Flutuador 1		t
Flutuador 2		t
Flutuador 3		t

Iniciar o Solver

Figura 4-25 - FPSO Cidade de Paraty

Os resultados encontrados na planilha desenvolvida são utilizados como dado de entrada no programa Orcaflex, para assim, realizarmos uma análise mais detalhada da operação.

É de extrema importância que os resultados encontrados pela planilha sejam confiáveis, para que o resultado obtido no programa possa convergir com menos iterações.

4.2. Dados de entrada

A plataforma Cidade de Paraty é uma unidade do tipo FPSO que está ancorada em profundidade d'água de 2.120 metros, a cerca de 300 km da costa e tem capacidade para processar diariamente até 120 mil barris de petróleo e 5 milhões de m³ de gás. As informações referentes ao FPSO e ao campo podem ser encontradas no Anexo 1.

Tabela 4-2 - Dados do FPSO

DADOS DO FPSO CIDADE DE PARATY	
Localização	Campo de Lula Nordeste na Bacia de Santos
Capacidade de produção	120 mil barris de petróleo por dia
Capacidade de compressão de gás	5 milhões de m ³ por dia
Profundidade do local de operação	2120 m
Comprimento	322 metros
Boca	56 metros
Pontal	29 metros
Calado Máximo	20,2 metros

A plataforma estará ligada a diversos poços submarinos que serão responsáveis por controlar a saída do óleo e realizar a injeção de gás ou água que serão levados em ambos os sentidos pelas linhas flexíveis instaladas.

O sistema de produção desse FPSO possui tecnologia inovadora, desenvolvida pela empresa SUBSEA 7. Essa tecnologia consiste na utilização de uma Boia de Sustentação de Riser (BSR). Por meio dessa tecnologia pioneira, o trecho ascendente das tubulações de produção é sustentado por uma boia submersa. Na figura 4-3, pode-se observar uma dessas boias em operação.

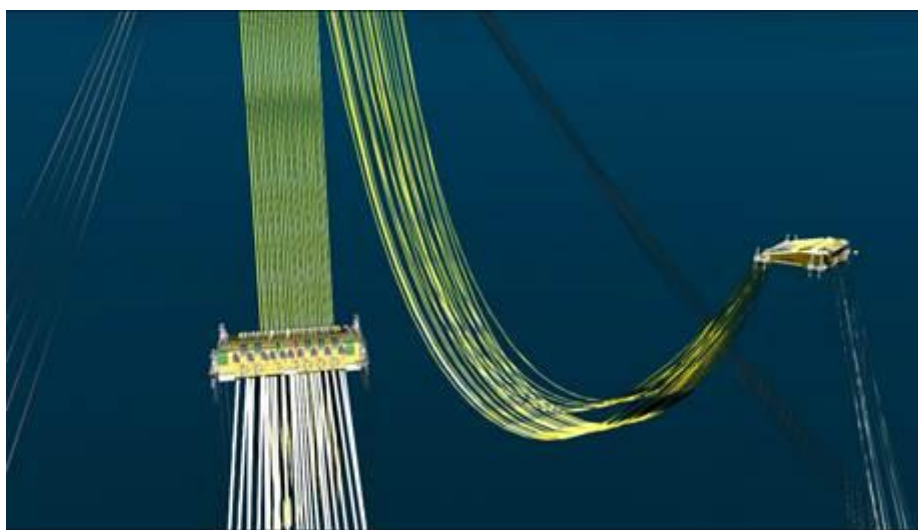


Figura 4-3 - Boia de Sustentação de Riser (BSR)

Como citado anteriormente, será feita a análise da conexão vertical direta para uma linha de injeção de água. Neste caso, foi estabelecido que a conexão vertical direta será realizada em primeira extremidade devido a limitações do MCV.

Para a realização dos cálculos e análises, necessita-se de informações sobre o duto flexível, sobre os acessórios da linha e sobre os equipamentos submarinos. Na tabela 4-3, pode-se encontrar as informações mais relevantes para nossos cálculos e análises, porém, algumas informações mais específicas podem ser visualizadas no ANEXO 2.

Tabela 4-3 - Dados do duto, acessórios e equipamentos

Dados de entrada		
MCV		
Massa do MCV	6414.00	kg
Distância do CG	1.38	m
Comprimento	1.65	m
Conector		
Massa	420.00	kg
Comprimento	1.35	m
Vértebra		
Massa	1663.00	kg
Comprimento	7.70	m
Raio mínimo	3.675	m
Duto		
Massa específica	43.99	kg/m
Comprimento	18.40	m
Rigidez a Flexão	548	KN/m ²

4.3. Cálculos e Resultados

Para a realização dos cálculos, foi utilizada a planilha no Excel citada no capítulo 4.1 e os dados de entrada do capítulo 4.2. Os resultados dos cálculos realizados automaticamente pela planilha, a partir dos dados de entrada, podem ser visualizados na tabela 4-4.

Tabela 4-4 - Resultados obtidos automaticamente pela planilha

Comprimento disponível para montagem dos flutuadores	17,05	m
FAD	1,30	
Aceleração da Gravidade	9,81	m/s ²
		Unidade
Peso do MCV	54722,87	N
Peso do conector	3583,35	N
Peso da vértebra	14188,36	N
Peso do duto	7937,66	N
Força do flutuador 1	9806,65	N
Força do flutuador 2	4903,33	N
Força do flutuador 3	4903,33	N
distância do mcv	1,38	m
distância do conector	2,33	m
distância da vértebra	6,85	m
distância do duto	10,85	m
distância do flutuador 1		m
distância do flutuador 2		m
distância do flutuador 3		m
distância flutuador 1-2	0	m
distância flutuador 2-3	0	m
equilíbrio dos momentos	-267015	N.m

Na tabela 4-4 podemos verificar que o somatório de momentos não está igual a zero. Através da ferramenta criada as iterações com as posições dos flutuadores são iniciadas a fim de atingir a condição de equilíbrio de momentos igual a zero, e, sempre respeitando as condições descritas no capítulo 4-1.

Na CVD de 1ª extremidade, nota-se que os dados em relação as forças as quais o duto estará exposto, com exceção da força exercida pelo guindaste do PLSV. Como já explicado anteriormente, essa força será calculada a partir do equilíbrio de forças. Por outro lado, não se possui a localização dos flutuadores que serão utilizados durante a operação, o que impossibilita o cálculo do equilíbrio dos momentos.

Para satisfazer a equação 2, descrita anteriormente, deve-se variar a posição dos flutuadores respeitando uma certa distância entre eles. Dessa forma, com auxílio da ferramenta Solver do Excel, foi criada uma planilha que, a partir dos dados de entrada, calcula a distância em que os flutuadores devem ser instalados de modo que o somatório dos momentos seja igual a zero e as condições relacionadas a espaçamento entre os flutuadores seja respeitada.

Na tabela 4-5 pode-se visualizar os resultados obtidos em relação ao equilíbrio de momentos para o caso que vem sendo estudado.

Tabela 4-5 - Resultados encontrados para o equilíbrio de momentos

		Unidade
Peso do MCV	54722.87	N
Peso do conector	3583.35	N
Peso da vértebra	14188.36	N
Peso do duto	7937.66	N
Força do flutuador 1	9806.65	N
Força do flutuador 2	4903.33	N
Força do flutuador 3	4903.33	N
distância do mcv	1.38	m
distância do conector	2.33	m
distância da vértebra	6.85	m
distância do duto	10.85	m
distância do flutuador 1	16	m
distância do flutuador 2	13	m
distância do flutuador 3	9	m
distância flutuador 1-2	3	m
distância flutuador 2-3	4	m
equilíbrio dos momentos	0	N.m

Em resumo, os flutuadores devem ser instalados nas seguintes cotas:

Tabela 1-6 - Resumo das informações dos flutuadores utilizados

Configuração		
	tipo	Cota a partir da extremidade final do duto
Flutuador 1	1 tf	16 m
Flutuador 2	0.5 tf	13 m
Flutuador 3	0.5 tf	9 m

A próxima etapa calculou-se a força realizada pelo guindaste do PLSV. Essa força será utilizada para verificação do raio de curvatura que a linha estará exposta, para isso deve-se utilizar a equação 14 citada anteriormente, a qual relaciona o momento resultante da aplicação da força exercida pelo guindaste do PLSV com o rigidez a flexão do duto flexível ou umbilical.

Com esse resultado é possível verificar se o raio mínimo de curvatura da estrutura do duto flexível ou umbilical será respeitado e conseqüentemente se o raio mínimo de curvatura do restritor de curvatura também está sendo respeitado. A planilha desenvolvida utiliza esse critério como um requisito para a solução, caso não seja atendido, a planilha não retorna um valor.

Na figura 4-4 pode-se verificar o resultado encontrado para o raio mínimo de curvatura que a linha e seu acessório estarão expostos, bem como a verificação realizada pela planilha.

Equilíbrio de forças	-60818.94	N
Força com o Guindaste	60.82	KN
	6.20	tf
Momento com o Guindaste	83.7 KN.m	
Raio	6.55 m	OK

Verifica se o raio encontrado é maior que o raio da vértebra (para evitar o travamento)

Figura 4-4 - Verificação do raio mínimo de curvatura da vértebra

A última etapa dos cálculos realizados foi a verificar a máxima carga em que o equipamento estará exposto. Essa situação ocorrerá durante a verticalização do MCV. Essa verificação é de extrema importância pois deve-se ter a garantia de que a lingada e o MCV irão suportar tais cargas.

É importante citar, que sempre utiliza-se um Fator de Amplificação Dinâmica (FAD) igual a 1,3 para, de certa forma, englobar no cálculo da carga máxima durante a operação, as cargas resultantes dos movimentos da embarcação.

Na figura 4-5 pode-se verificar a carga máxima encontrada para essa operação.

Máxima carga na operação	
MDL CVD 1ª	10.66 tf

Figura 4-5 - Carga máxima durante a operação

Feitos os cálculos, foi criado um modelo utilizando o software OrcaFlex. O método de modelagem por elementos finitos consiste em representar as linhas por modelos de massa concentrada, ou seja, a linha é modelada como uma série de elementos de massa unidos por molas sem massa. A nomenclatura comumente utilizada se refere aos elementos de massa como nós e as molas como segmentos. Cada segmento representa um pequeno pedaço da linha, cujas propriedades (massa, fluabilidade e rigidez) foram agrupadas nos nós em suas extremidades.

Foram especificadas as propriedades da linha dividindo-a e um número de seções consecutivas. Pode-se dizer que quanto maior o número de seções, mais refinada é a malha, por isso, em pontos críticos da linha, será utilizado um maior número de seções.

Além disso, o programa permite a adição de alguns elementos a linha, como por exemplo boias, acessórios ou equipamentos. Neste caso, usaremos essa opção para adicionarmos os flutuadores que deverão ser usados durante a operação, os acessórios que compõem a linha e o MCV.

As duas extremidades de uma linha são referidos como End A e End B. Neste caso a extremidade A será livre e extremidade B será a do MCV. Além disso, utilizamos 6 seções, 4 delas para a linha, 1 para a vértebra e outra para o conector. Vale ressaltar que utilizou-se 4 seções para a linha para que possamos posiciona-las de forma que tenhamos resultados mais precisos, ou seja, para este caso teremos seções menores localizadas próximas as extremidades.

Na figura 4-6 pode-se visualizar a janela do programa utilizado onde foram inseridos os dados acima.

The screenshot shows the 'Edit Line Data' window in OrcaFlex. The 'Name' field is 'Unibocal'. The 'Include Torsion' checkbox is checked. The 'Top End' is 'End A' and the 'P-y Model' is '(none)'. The 'Connection' table shows End A as 'Free' and End B as 'MCV'. The 'Connection Stiffness' table shows 'x bending' as 'Infinity', 'y bending' as '~', and 'Twisting' as 'Infinity'. The 'Statics' section shows 'Included in Statics' as 'User Specified' and 'Full Statics' as 'Full Statics'. The 'Structure' tab is active, showing a table of 6 sections with a total length of 1364.834m.

no.	Line Type	Section Length (m)	Expansion Factor	Target Segment Length (m)	Number of Segments	Cumulative Values Length (m)	Segments
1	Linha	1206,00	~	10,000	121	1206,00	121
2	Linha	50,000	~	5,000	10	1256,00	131
3	Linha	50,000	~	2,000	25	1306,00	156
4	Linha	50,000	~	0,500	100	1356,00	256
5	Vértebra	7,442	~	0,500	15	1363,44	271
6	Conector	1,392	~	0,500	3	1364,83	274

Figura 4-6 - Dados de entrada do programa OrcaFlex

Agora, deve ser incluída a rigidez para cada seção escolhida. Vale ressaltar que deve-se usar uma rigidez a flexão bem alta para o conector.

Como primeiro passo, realizamos uma análise estática, isso irá nos mostrar a necessidade ou não do uso de flutuadores. Na figura 4-7 pode-se verificar o que foi gerado a partir dos dados fornecidos ao programa.

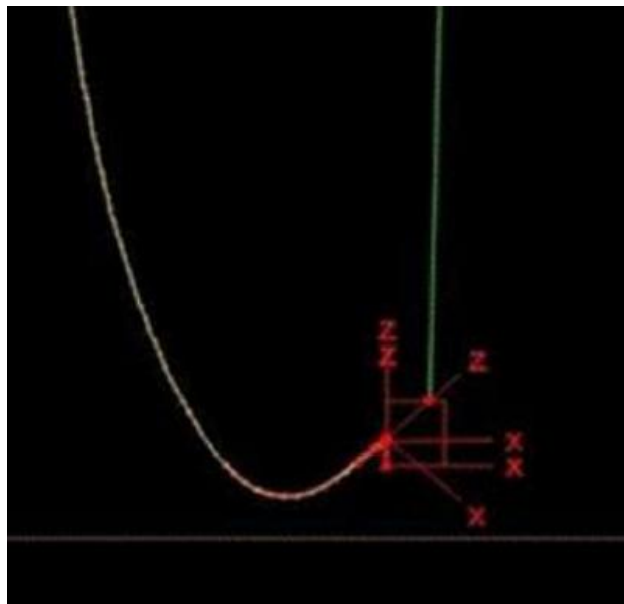


Figura 4-7 - Resultado da análise estática

Agora, os flutuadores serão adicionados. Como já foram realizados os cálculos, tem-se um ponto de partida para posicionarmos os flutuadores. Serão utilizadas as localizações encontradas anteriormente e caso o resultado esperado não seja encontrado serão feitas modificações na posição dos mesmo.

Na figura 4-8 pode-se verificar a janela que permite a adição dos flutuadores e como o programa os representa.

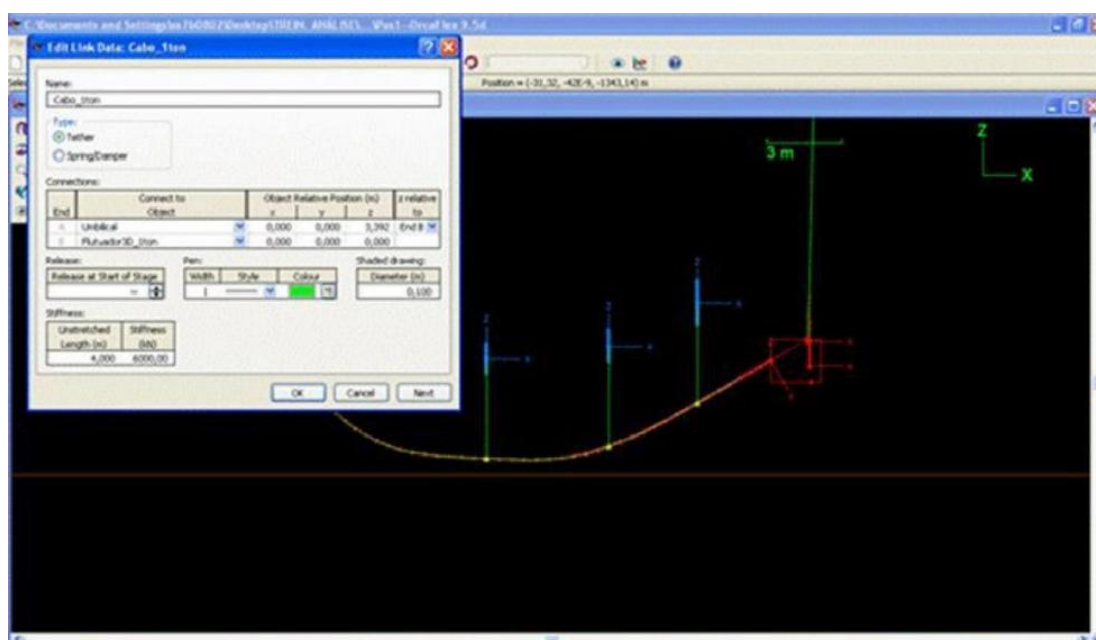


Figura 4-8 - Adição dos flutuadores no programa OrcaFlex

Adicionados os flutuadores, a preocupação neste momento está relacionada a verticalização do MCV. Podemos tentar realiza-la pagando ou recolhendo o cabo do guindaste conectado ao MCV. É importante ressaltar que durante esta etapa deve haver uma preocupação em relação ao raio mínimo de curvatura da linha e da vértebra, que devem sempre ser respeitados. Outro ponto importante é a verificação da distância entre o duto flexível e o solo, pois a linha não deve estar em contato com o solo antes do assentamento do MCV.

Uma maneira de verificar o raio de curvatura que a linha está sendo exposta é abrir o gráfico que o programa faz automaticamente em paralelo as alterações que são feitas ao longo do tempo. Esse gráfico relaciona a curvatura que a linha estará exposta de acordo com as alteração feitas.

No gráfico exposto na figura 4-9 pode-se verificar o comportamento do raio mínimo de curvatura em função das 3 configurações das boias. A linha horizontal representa o raio mínimo de curvatura da vértebra, que no nosso caso é o mesmo do duto flexível. Podemos constatar que nas duas configurações iniciais o duto flexível estaria exposto a raios de curvatura menores que o permitido, já na terceira configuração, encontramos um resultado satisfatório.

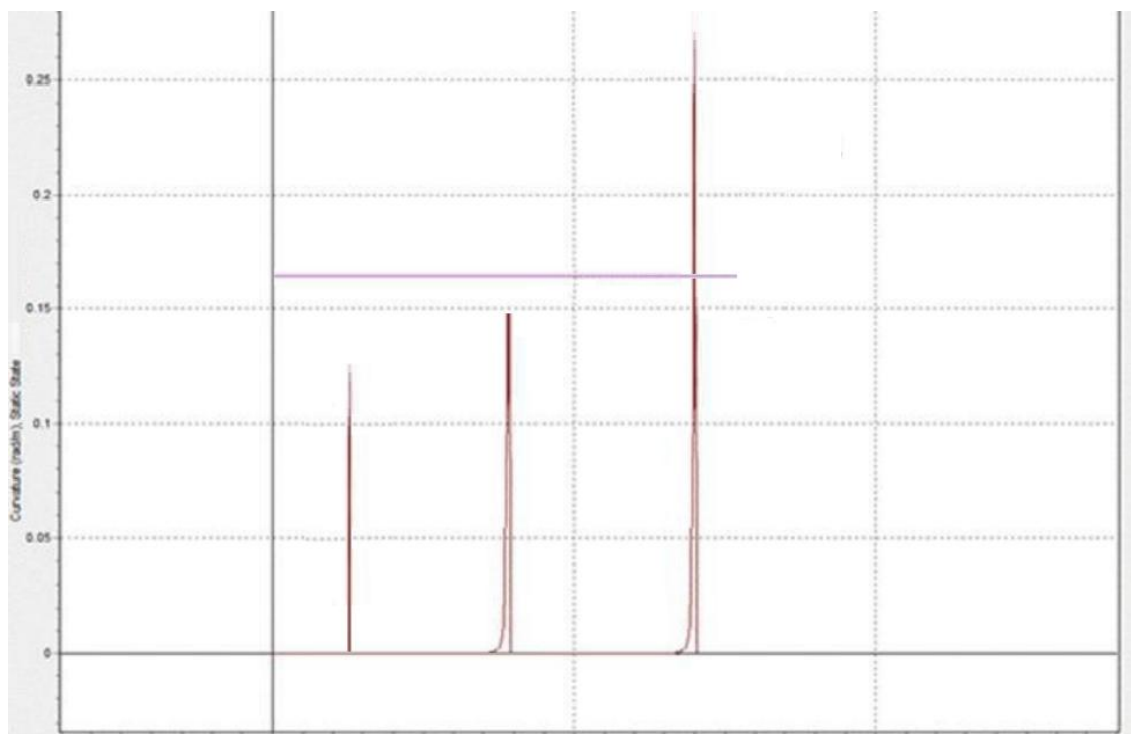


Figura 4-9 - Gráfico de resultados para o raio de curvatura

Mesmo fazendo algumas modificações, foram encontrados resultados parecidos para a configuração das boias.

Nas tabelas 4-7, 4-8 e 4-9 estão representadas as configurações adotadas nas 3 etapas do gráfico acima.

Tabela 4-7 - Primeira configuração das boias utilizada no programa

Configuração 1		
	tipo	Cota a partir da extremidade final do duto
Flutuador 1	1 tf	16 m
Flutuador 2	0.5 tf	13 m
Flutuador 3	0.5 tf	9 m

Tabela 4-8 - Primeira configuração das boias utilizada no programa

Configuração 2		
	tipo	Cota a partir da extremidade final do duto
Flutuador 1	1 tf	17 m
Flutuador 2	0.5 tf	14 m
Flutuador 3	0.5 tf	9 m

Tabela 4-9 - Primeira configuração das boias utilizada no programa

Configuração 3		
	tipo	Cota a partir da extremidade final do duto
Flutuador 1	1 tf	16,6 m
Flutuador 2	0.5 tf	13,4 m
Flutuador 3	0.5 tf	9 m

Além do raio de curvatura, o programa fornece a carga máxima que o equipamento estará exposto. Esse valor é mais preciso, já que o FAD utilizado anteriormente dificilmente corresponde a situação real. O valor adotado é uma contingência. Nesse quesito o programa também é de extrema importância, pois com as contas iniciais, poderíamos inviabilizar alguma operação devido ao exagerado valor adotado para o FAD.

O valor encontrado pelo OrcaFlex para a maior carga durante a operação pode ser visualizado na figura 4-10.

Máxima carga na operação (OrcaFlex)	
MDL CVD 1ª	9,30 tf

Figura 4-10 - Carga máxima durante a operação encontrada pelo programa

A configuração final dos flutuadores encontrada utilizando o OrcaFlex pode ser visualizada na figura 4-11.

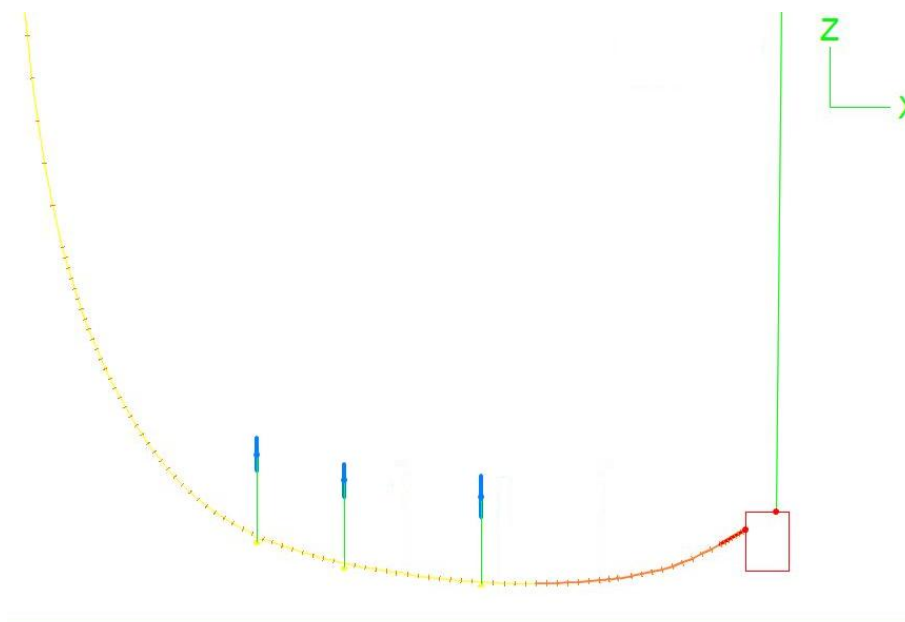


Figura 4-11 - Configuração final dos flutuadores

4.4. Análise de resultados

É importante verificar a discrepância entre os resultados encontrados para a configuração dos flutuadores a carga máxima durante a operação utilizando as equações descritas e o programa OrcaFlex. Essa comparação pode ser visualizada na tabela 4-10.

Tabela 4-10 - Discrepância entre os resultados obtidos pelas equações e pelo OrcaFlex

Resultados encontrados			
	Equações	OrcaFlex	Discrepância
Capacidade Flutuador 1 (tf)	1	1	0,00%
Capacidade Flutuador 2 (tf)	0,5	0,5	0,00%
Capacidade Flutuador 3 (tf)	0,5	0,5	0,00%
Cota Flutuador 1 (m)	16	16,6	3,75%
Cota Flutuador 2 (m)	13	13,4	3,08%
Cota Flutuador 3 (m)	9	9	0,00%
Carga Máxima durante Operação (tf)	10,66	9,3	12,76%

Analisando as discrepâncias encontradas, podemos dizer que as equações utilizadas são bastante confiáveis no que diz respeito ao posicionamento dos flutuadores. Tais dados encontrados pelas equações podem facilmente ser utilizados como valores iniciais de posicionamento dos flutuadores na modelagem em OrcaFlex.

Além disso, foi possível observar que pequenas modificações no posicionamento dos flutuadores tem bastante influência no raio de curvatura que o duto estará exposto, o que torna o programa OrcaFlex fundamental para uma análise mais precisa que reflete em maior segurança durante a operação.

Podemos citar também que a carga máxima encontrada durante a operação quando utilizamos as equações descritas acima, foi um pouco exagerada, o que nos faz concluir que esse valor encontrado não poderia definir a viabilidade ou não da operação.

5. CONCLUSÕES

Durante a execução desse projeto foi desenvolvida uma ferramenta para facilitar a análise da operação de conexão vertical direta de primeira extremidade. Tal ferramenta é de extrema importância para uma análise preliminar da configuração que deve ser adotada na conexão do duto flexível ou umbilical ao poço de produção. A partir dessa ferramenta pode-se evitar um processo iterativo muito longo durante a modelagem da operação no programa Orcaflex, o que, sem sombra de dúvidas requer bastante tempo e esforço para execução. A ferramenta criada é fácil de ser usada, rápida e eficiente, portanto, a mesma torna-se indispensável para uma análise preliminar da CVD de 1ª extremidade e obtenção de dados iniciais para a modelagem em Orcaflex.

Pode-se concluir que o modelo matemático utilizado serve como uma etapa inicial do processo de análise da operação de conexão vertical direta, porém, para obtermos resultados mais confiáveis é indispensável a utilização do programa OrcaFlex.

A utilização do programa OrcaFlex irá nos garantir que a operação de conexão vertical direta irá ocorrer sem que problemas como danos a equipamentos e perda de tempo excessivo ocorram.

Além dos resultados de modelagem, esse trabalho possibilitou o entendimento de todo o processo de instalação de dutos flexíveis e umbilicais, desde a sua estrutura até sua operação. Esse conhecimento adquirido será de extrema importância na vida profissional, já que, é cada vez mais comum a utilização de dutos flexíveis e umbilicais na exploração de óleo e gás.

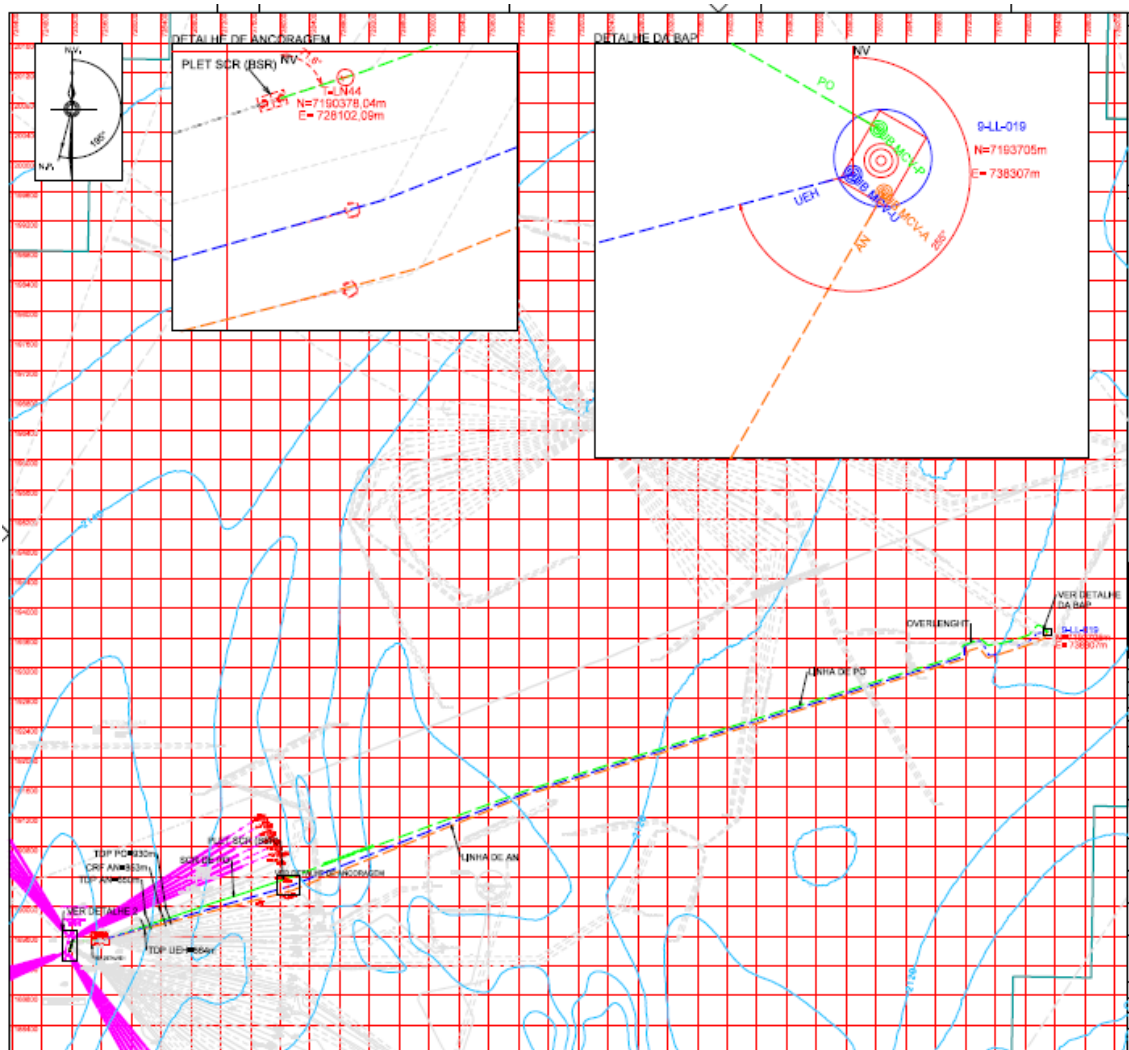
Por último, podemos dizer que esse trabalho despertou o interesse do autor pelo programa utilizado. As diversas opções de utilização do mesmo tornam essa ferramenta indispensável para qualquer engenheiro que trabalhe com dutos flexíveis e umbilicais.

6. Referencias

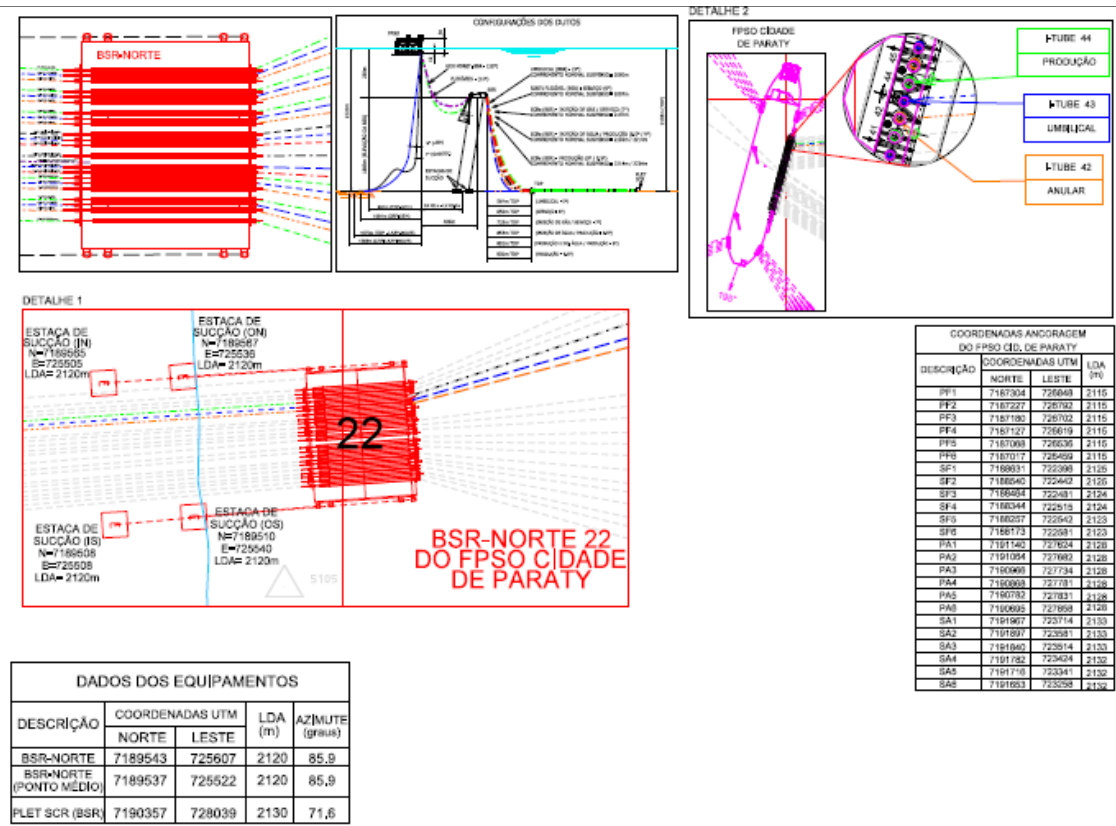
- [1] ISO - International Organization for Standardization. Petroleum and natural gas industries - design and operation of subsea production systems - part 11: Flexible pipe systems for subsea and marine applications. 2007.
- [2] API RP 17E, 2002. Recommended Practice for Flexible Pipe. 3 ed, March. Washington, USA, American Petroleum Institute.
- [3] PETROBRAS. N-2409 – Norma Petrobras para Dutos Flexíveis, 2003.
- [4] Petrobras [on line] 2014. Disponível: <http://www.petrobras.com.br/pt/> [Acesso:30 Maio.2014].
- [5] UKOOA, "State of the Art Flexible Riser Integrity Issues" - MCS International April 2001.
- [6] Subsea 7 [on line] 2015. Disponível: <http://www.subsea7.com/> [Acesso: 03 maio.2015].
- [7] SKORULSKI, Bartłomiej. Matemática em Engenharia , Revista Soluções. Jan 2003.
- [8] John F. Bukowski. Christian huygens and the problem of the hanging chain. College Math Journal, 39(1):2–11, 2008.
- [9] ORCAFLEX version 8.5a, Orcina Ltda, 1987-2004.
- [10] Lopes, V. S. (2005), "Influência da Rigidez à Flexão de Duto Flexível na Instalação de Módulos de Conexão Vertical em Águas Profundas", Tese de Mestrado, Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ.
- [11] Silva, A. P. (2006), "Análise da influência da temperatura na rigidez à flexão de linhas flexíveis", Projeto de Graduação, Engenharia Naval e Oceânica, UFRJ.
- [12] Xavier, M. L. (2006), "Instalação de dutos flexíveis em águas ultraprofundas", de Mestrado, Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ.
- [13] Beer, F. P. e Johnston, E. R., Resistência dos Materiais, 3ª Ed., São Paulo, Ed. Pearson Makron Book, 2008

ANEXO 1 - Dados da Plataforma e do Campo

Arranjo Submarino do Campo



Dados da Plataforma e BSR



ANEXO 2 - Dados do duto flexível e acessórios

Dados do duto flexível

<p>STATIC 101.6 mm 34.474 MPa 2500 m PRODUCTION / GAS / SERVICE FLOWLINE</p> <p>Structure Number: WSI 101.2504 R1</p>

Inside Diameter	101.6 mm	Service State	Max. Fluid Temp.	90 °C
Design Pressure	34.474 MPa	Conveyed Fluid oil/gas	Water Depth	2500 m

Layer	Material	I.D.	Thick	O.D.	Weight
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]
Flexbody	Duplex 2205	101.60	6.00	113.60	9.163
Flexbarrier	PA 11 Natural	113.60	6.00	125.60	2.367
Flexclot	Steel 110ksi UTS	125.60	6.35	138.30	17.285
Flextape	Polypropylene	138.30	0.30	138.89	0.119
Flexensile 1	Steel 190ksi UTS	138.89	3.99	143.87	12.104
Flextape	Polypropylene	146.87	0.30	147.46	0.127
Flextape	High Strength Glass Filmt 3M 880SR	147.46	0.81	149.09	0.492
Flextape	Polypropylene	149.09	0.30	149.68	0.129
Flexensile 2	Steel 190ksi UTS	149.68	3.99	157.65	13.217
Flextape	Polypropylene	157.65	0.30	158.24	0.136
Flextape	High Strength Glass Filmt 3M 880SR	158.24	0.81	159.67	0.526
Flextape	Polypropylene	159.67	0.30	160.46	0.138
Flexshield	HDPE Yellow	160.46	6.00	172.46	2.937

Layer	Raw Material Dimensions		Mfg Pitch	Wires	Angle	Filled
Flexbody	40.0mm x 1.2mm	1.575in x 0.047in			87.6	91.27%
Flexclot (Profile F)	14.4mm x 6.4mm	0.565in x 0.250in			88.6	90.90%
Flexensile 1	8.0mm x 4.0mm	0.315in x 0.157in	617.8mm	42	36.0	95.19%
Flexensile 2	8.0mm x 4.0mm	0.315in x 0.157in	715.7mm	47	34.0	96.48%

Outside Diameter	172.46 mm	Volume (at OD)	23.380 l/m
Storage Radius, SBR	2.45 m	Volume (at ID)	8.974 l/m
Operating Radius, OBR	2.45 m	Wt, Empty in Air	56.74 kg/m
Pipe bending stiffness at 23 °C, EI	4.140 kNm ²	S/W filled in Air	67.94 kg/m
Spooling Tension	889 N	Air filled in S/W	34.79 kg/m
Therm. Cond./Length, C/L	7.99 w/m°C	S/W filled in S/W	43.99 kg/m
Effective Thermal Cond, ke	0.67 w/m°C	Burst Pressure	101.98 MPa
CHTC, Ue (based on ID)	25.03 w/m°C	Burst/Design	2.96
SWDR with bore empty	1.98 N/m mm	Collapse Pressure	30.44 MPa
SWDR with bore filled by SW	2.50 N/m mm	Collapse Depth	3029 m
Pipe torsional stiffness (GJ) at 23 °C:		Collapse/Design	1.21
Limp direction	269 kNm ²	Failure Tension	2560.7 kN
Stiff direction	588 kNm ²		
Axial Stiffness	170931 kN		

Notes

- 1- Alternative structure from WSI 101.2502 (TUPI Field) with PA-11 on barrier
- 2- 90°C intermittent use only
- 3- IAR 5.80m @ 2500m WD (Air filled in SW)

Dados da rigidez a flexão do duto em diferentes situações

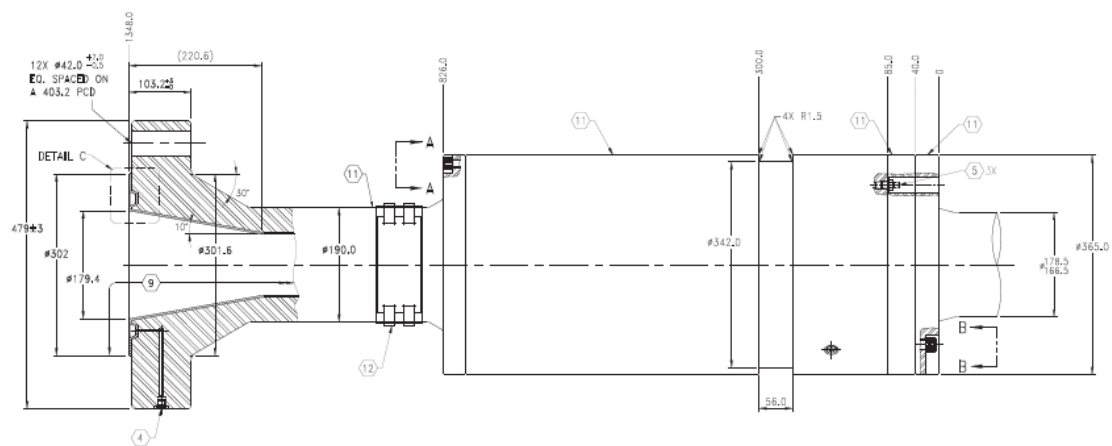
WSI 101.2504						
Caso	Rigidez Flexional Equivalente [kN.m ²]		Rigidez Flexional Pré-Escorregamento [kN.m ²]	Rigidez Flexional Pós-Escorregamento [kN.m ²]	Curvatura no Início do Escorregamento [1/m]	
	OBR=10m	MBR				
Dry Annulus	1	245	69	548	11	0.0445
	2	266	75	548	11	0.0485
	3	295	82	548	11	0.0543
	4	297	83	548	11	0.0548
Flooded Annulus	5	25	14	287	10	0.0052
	6	14	11	76	10	0.0049
	7	45	19	426	10	0.0053
	8	48	20	440	10	0.0058

Casos de Carregamento	
Anular Seco	Caso 1: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, pressão interna igual a pressão atmosférica e pressão externa equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²);
	Caso 2: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, pressão interna e externa ao duto equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²);
	Caso 3: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, pressão interna igual a pressão de projeto acrescida da pressão devido a coluna de fluido (considerar linha cheia de água do mar) e pressão externa equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²);
	Caso 4: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, 110% da pressão de projeto interna ao duto e pressão externa equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²); Atentar para o fato de que a pressão de teste é medida no topo, ou seja, deverá ser acrescentada a pressão hidrostática do fluido de teste no interior do duto (pior caso: água do mar)
Anular Alagado	Caso 5: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, pressão interna igual a pressão atmosférica e pressão externa equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²);
	Caso 6: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, pressão interna e externa ao duto equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²);
	Caso 7: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, pressão interna igual a pressão de projeto acrescida da pressão devido a coluna de fluido (considerar linha cheia de água do mar) e pressão externa equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²);
	Caso 8: Rigidez Flexional (EI) na temperatura da máxima LDA de projeto, 110% da pressão de projeto interna ao duto e pressão externa equivalente a máxima pressão da LDA de projeto (kN.m ²); Atentar para o fato de que a pressão de teste é medida no topo, ou seja, deverá ser acrescentada a pressão hidrostática do fluido de teste no interior do duto (pior caso: água do mar)

Dados do conector

NOTES:

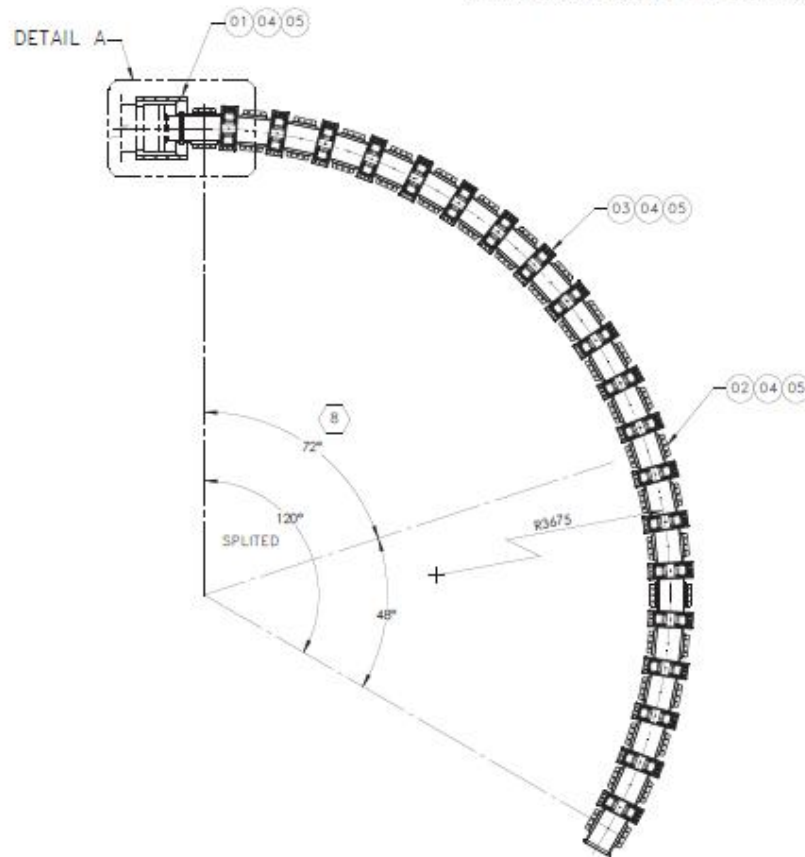
1. END CONNECTION: BASED ON API 6A, TYPE 6BX, 7 1/16", 10,000 psi INTEGRAL FLANGE, 4.0" TO 6.0" TRANSITION BORE WITH BX 156 RING GROOVE.
2. EXTERNAL ENDFITTING MATERIAL: LOW ALLOY STEEL FORGING, MTL-5120, COATED WITH ELECTROLESS NICKEL COATING, 75 microns +25/-0 DRY FILM THICKNESS PER MTL-5212.
3. ENDFITTING FASTENER MATERIAL: MTL-5186, ELECTRODEPOSITED CADMIUM WITH CHROMATE (ASSEMBLED WITH LOCTITE 577).
- TORQUE VALUE:
- | PLACEMENT | FASTENER | TORQUE VALUE |
|------------------------|---------------|----------------------|
| BODY TO JACKET | 1/2" - 20 UNF | 868 N-m (492 ft-lbs) |
| OUTER COLLAR TO JACKET | 3/4" - 16 UNF | 230 N-m (170 ft-lbs) |
4. N2 TEST PORT: #500"-20 UNF-2B STRAIGHT THREAD O-RING BOSS PORT PER SAE J1926 SPECIFICATION, WITH SST HOLLOW HEX, O-RING PLUG. TORQUE: 12.5 ±1 N-m (9 ±1 ft-lbs)
5. VENT PORTS: #125"-27 NPT W/ 316 SST RELIEF VALVES, 3/8" NPT INTERFACE. TORQUE: 20 +7/-0 Nm (15 +5/-0 ft - lbs).
6. FLANGE BOLTS: #1 1/2"-8 UN x 15 1/2", MTL-5186 STUD BOLTS, ELECTRODEPOSITED CADMIUM W/CHROMATE (12 PER FLANGE), #1 1/2"-8 UN, HYDRATIGHT HEX NUTS, (MTL-5186) ELECTRODEPOSITED CADMIUM W/CHROMATE (24 PER FLANGE), TORQUE (TO BE CONSIDERED DRY) 1990 N-m (1468 ft-lbs); PRELOAD: 348 IN (78233 lbs); BOLTS NOT SHOWN FOR CLARITY.
7. MASS: 420 Kg.
8. NOMINAL DIMENSIONS ONLY: DIMENSIONS APPLY PRIOR TO COATING.
9. SEAL AND INTERNAL SURFACES: 625 INCOEL 3.00 MINIMUM THICKNESS PER MTL-5143.
10. MANUFACTURING ASSY DRW: E-EF1012504-00-01
11. LOW STRESS STAMP MARKING IDENTIFICATION IN APPROXIMATE LOCATION SHOWN IN ACCORDANCE WITH MFG-4236.
ASSEMBLY DRAWING: E-EF1012504-00-01
BODY DRAWING: E-EF1012504-01-01
JACKET DRAWING: E-EF1012504-08-01
OUTER COLLAR DRAWING: E-EF1012504-09-01
MIDDLE COLLAR DRAWING: E-EF1012504-10-01
12. IDENTIFICATION PLATE DRAWING: E-QAXXXXXX-00-03
13. HARDNESS TESTING PERFORMED ON INCOEL 625 OVERLAY REGION OF FLANGE FACE AT 3 EQU-DISTANT LOCATIONS WITH IN 6.0mm BANNED REGION OUTSIDE OF BX 156 SEALING REGION. REFER TO DOCUMENTATION INCLUDED IN FLEXIBLE PIPE MANUFACTURING DATA DOSSIER FOR ACTUAL RESULTS WHERE THE MINIMUM HARDNESS SHALL BE 220 HBN.



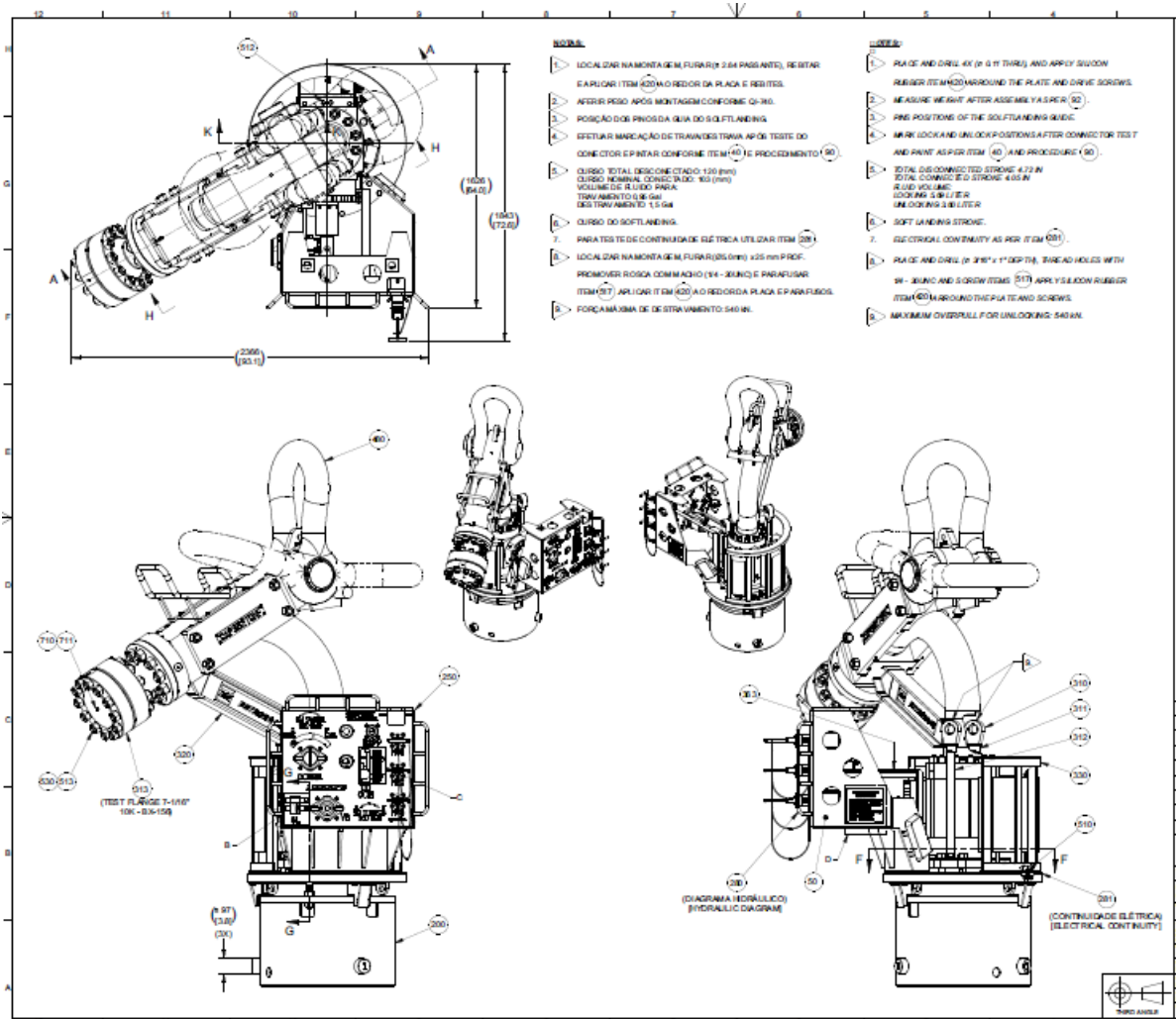
Dados do restritor de curvatura

NOTES:

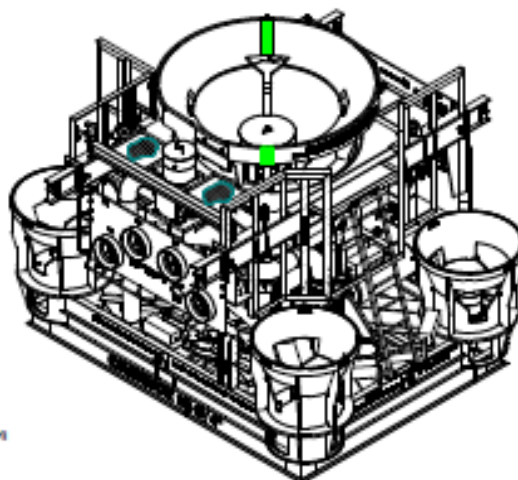
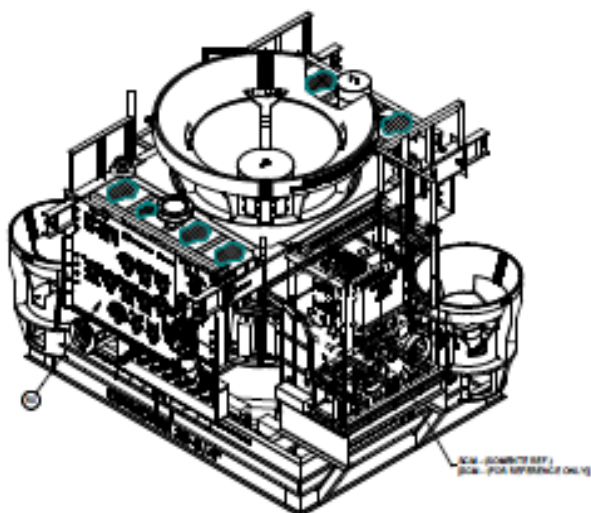
1. COATING: HIGH BUILD EPOXY WHITE COLOR ALL SURFACES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED IN ACCORDANCE WITH MFG-R-4487 FOR BRAZIL MANUFACTURING OR MTL-5138, CODE E FOR OTHERS COUNTRIES
2. BOLTS COATING : ELECTRODEPOSITED CADMIUM CLASS 12 microns (MINIMUM THICKNESS) TYPE II WITH SUPPLEMENTARY COLORED CHROMATE TREATMENT (YELLOW) IN ACCORDANCE WITH MTL-5186.
3. WEIGHT IN AIR: 1663 Kg.
4. BEND RESTRICTOR SPLITED TOTAL 120°: COMPRESSED LENGTH= 8217mm.
FREE LENGTH= 8919mm.
BEND RESTRICTOR SPLITED 72°: COMPRESSED LENGTH= 5217mm.
FREE LENGTH= 5649mm.
BEND RESTRICTOR SPLITED 48°: COMPRESSED LENGTH= 3000mm.
FREE LENGTH= 3270mm.
5. MANUFACTURING ASSEMBLY DWG: B-BR1012504-00-01.



Dados do MCV



Dados do BAP



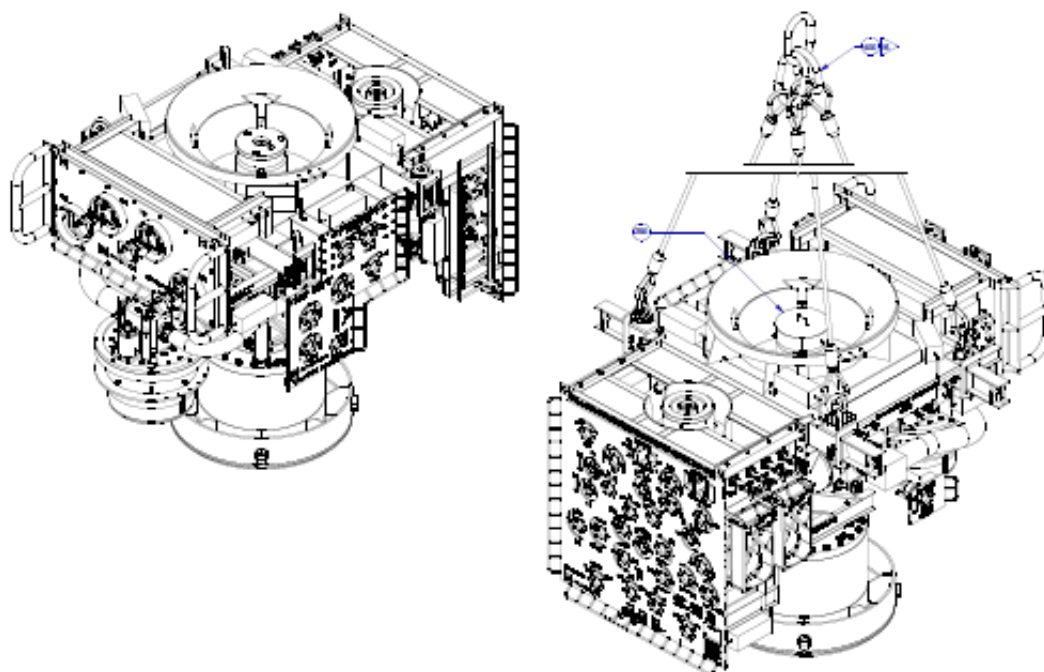
NOTAS:

1. MONTAR ITEM (339) CONFORME MOSTRADO NO DESENHO. APÓS MONTAGEM DO ITEM (339), INSTALAR ITEM (520) CONFORME COM AS VIGAS NAS POSIÇÕES RETRAÍDA E ESTENDIDAS A MONTAGEM DO ITEM (337).
2. PARA ITENS MOSTRADOS COM (500) VER ITEM (500).
3. DRIFT DE Ø129,4 CONFORME API 6A 20TH PARA BLOCO PIG CROSSOVER 5-1/8".
4. SUPORTE PARA PONTO DE TESTE DOS BX'S POR FORA.
5. UTILIZAR SOMENTE A QUANTIDADE DE CALÇOS NECESSÁRIOS PARA OBTER A DIMENSÃO INDICADA.
6. A REGULAGEM DO BATENTE DO RECEPTÁCULO DEVERÁ SER EXCUTADA GARANTINDO O ALINHAMENTO COM O BATENTE DA VÁLVULA 12" JÁ REGULADA.
7. PINTAR CONFORME ITEM (40).
8. PINTAR CONFORME O ITEM (40) E (51).
9. LOCALIZAR E PINTAR FAIXAS CONFORME ITEM (40) E PROCEDIMENTO (93) NA MONTAGEM FINAL.
10. O ITEM (332) (BULLSEYE) DEVE SER NIVELADO E AJUSTADO MANUALMENTE UTILIZANDO O ITEM (524).
11. QUANDO O ITEM (400) (LINGADA) NÃO ESTIVER SENDO UTILIZADA PARA IÇAMENTO, DEVE SER POSICIONADA DO MESMO LADO DA ENCADE.
12. SE NECESSÁRIO, UTILIZAR CALÇOS PARA MONTAGEM DAS LINHAS DE FLUXO.
13. LOCALIZAR NA MONTAGEM, FURAR (Ø2,84 X 7,0 PROF.) REBITAR COM ITEM (550) E APLICAR SILICONE ITEM (420) AO REDOR DA PLACA E DOS REBITES.
14. NA EXPEDIÇÃO DO EQUIPAMENTO, OS HOT STABS DEVERÃO SER TRANSPORTADOS NA PARTE DE TRÁS DO PAINEL, NO SEU RESPECTIVO RECEPTÁCULO.
15. APÓS A FINALIZAÇÃO DO PRIMEIRO PROJETO, A PLACA DE "IDENTIFICAÇÃO" TERÁ O SEU PESO REVISADO PARA O VALOR OBTIDO EM BALANÇA FINAL.
16. AFERIR PESO APÓS A MONTAGEM CONFORME QI-740.
17. PARA LOCALIZAÇÃO DOS CABOS DE CONTINUIDADE ELÉTRICA VER ITEM (281) E PARA DIAGRAMA DE TESTE HIDRÁULICO VER ITEM (282).
18. DIMENSÕES INDICADAS DEVEM SER VERIFICADAS UTILIZANDO O GABARITO DA BAP.





















NOTES:

1. ASSEMBLE ITEM (339) AS SHOWN. AFTER ASSEMBLE THE ITEM (339), INSTALL ITEM (520). CONFIRM WITH BEAMS ON RETRACTED AND EXTENDED POSITION THE INSTALLATION OF ITEM (337).
2. ITEMS SHOWN THUS (500) REFER TO ITEM (500).
3. FOR PIG CROSSOVER BLOCK 5-1/8", THE DRIFT DIAMETER IS ØS.09" ACCORDING TO API 6A 20TH ED.
4. SUPPORT FOR BX RING GROOVES EXTERNAL TEST POINTS.
5. USE ONLY THE NECESSARY QUANTITY OF SHIMS TO ACHIEVE DIMENSION SHOWN.
6. THE RECEPTACLE BACK STOP MUST BE ALIGNED WITH 12" VALVE STOPPER ALREADY GAUGED.
7. COAT AS PER ITEM (40).
8. COAT AS PER ITEM (40) AND (51).
9. LOCATE AND PAINT STRAPS AS PER ITEM (40) AND PROCEDURE (93) ON FINAL ASSEMBLY.
10. ITEM (332) (BULLSEYE) SHALL BE BALANCED AND ADJUSTED MANUALLY USING ITEM (524).
11. WHEN ITEM (400) (LIFTING SET) IS NOT BEING USED FOR LIFTING SHOULD BE SUSPENDED IN THE SAME SIDE (S) - 2 SAYS.
12. IF NECESSARY USE SHIMS TO ASSEMBLE THE FLOWBENDS.
13. FIND IN ASSEMBLY, DRILL HOLE (Ø2.104 X 27 DEPTH) FIX USING ITEM (550) AND APPLY SEALANT ITEM (420) AROUND THE PLATE AND DRIVES SCREWS.
14. DURING EQUIPMENT SHIPMENT, THE HOT STABS MUST BE TRANSPORTED ON THE PANEL REAR SIDE, IN THE RESPECTIVE RECEPTACLE.
15. AFTER COMPLETION OF THE FIRST PROJECT, THE PLATE "IDENTIFICATION" WILL BE REVISED TO UPDATED THE WEIGHT VALUE OBTAIN IN THE FINAL WEIGHING.
16. AFTER ASSEMBLY MEASURE THE WEIGHT AS PER ITEM (96).
17. ELECTRICAL CONTINUITY CABLE POSITION REFER TO ITEM (281) AND TO TEST HYDRAULIC SEE ITEM (282).
18. INDICATED DIMENSIONS MUST BE CHECKED USING THE PAB JIG.

Dados da ANM



NOTAS / NOTES:

1. PARA ITENS MOSTRADOS COM  VER ITEM .
SEE ITEM  TO ITEMS SHOWN THUS .
2. LOCALIZAR NA MONTAGEM, FURAR (Ø2.64 X 7.0 PROF.) REBITAR COM ITEM  E APLICAR SILICONE ITEM  AO REDOR DA PLACA E DOS REBITES.
FIND IN ASSEMBLY, DRILL HOLE (Ø.104 X .27 DEPTH) FIX USING ITEM  AND APPLY SEALANT ITEM  AROUND THE PLATE AND DRIVES SCREWS.
3. LOCALIZAR E PINTAR LETRAS INDICADAS CONFORME ITEM , COM ITEM  NA MONTAGEM.
POSITION AND PAINT INDICATED LETTERS AS PER ITEM  WITH ITEM  ON ASSEMBLY.
4. LOCALIZAR E PINTAR LETRAS INDICADAS COM ALTURA DE 100 mm COM ITEM  NA MONTAGEM.
POSITION AND PAINT INDICATED LETTERS WITH 4 in HEIGHT WITH ITEM  ON ASSEMBLY.
5. LOCALIZAR E PINTAR LETRAS INDICADAS COM ALTURA DE 200 mm COM ITEM  NA MONTAGEM.
POSITION AND PAINT INDICATED LETTERS WITH 8 in HEIGHT WITH ITEM  ON ASSEMBLY.
6. MONTAR ITEM , APÓS O ÚLTIMO TESTE DA FÁBRICA.
ASSEMBLE ITEM  AFTER LAST FACTORY TEST.
7. SUPORTE PARA PONTO DE TESTE DO BX'S POR FORA.
SUPPORT FOR TEST POINT OF BX'S BY OUTSIDE.
8. SUPORTE PARA MANIFOLD DO CIRCUITO HIDRÁULICO DE COMPENSAÇÃO.
SUPPORT FOR MANIFOLD OF THE HYDRAULIC CIRCUIT OF COMPENSATION.
9. PINTAR COM ITEM  CONFORME ITEM .
10. NA EXPEDIÇÃO DO EQUIPAMENTO, OS HOT STABS DEVERÃO SER TRANSPORTADOS NA PARTE DE TRAZ DO PAINEL, NO SEU RESPECTIVO RECEPTÁCULO.
DURING EQUIPMENT SHIPMENT, THE HOT STABS MUST BE TRANSPORTED ON THE PANEL REAR SIDE, IN THE RESPECTIVE RECEPTACLE.
11. APÓS A FINALIZAÇÃO DO PRIMEIRO PROJETO, A PLACA DE "IDENTIFICAÇÃO" TERÁ O SEU PESO REVISADO PARA O VALOR OBTIDO EM BALANÇA FINAL.
AFTER COMPLETION OF THE FIRST PROJECT, THE PLATE "IDENTIFICATION" WILL BE REVISED TO UPDATE THE WEIGHT VALUE OBTAIN IN THE FINAL WEIGHING.