

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA CIVIL

RAIZA BRITO CIPRIANO

**ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE DUTO FLEXÍVEL POR CONEXÃO VERTICAL
DIRETA**

Niterói

2020

RAIZA BRITO CIPRIANO

**ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE DUTO FLEXÍVEL POR CONEXÃO
VERTICAL DIRETA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador: Prof. André Luiz Lupinacci Massa, Msc

Niterói

2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

C577a Cipriano, Raiza Brito
Análise de instalação de duto flexível por conexão
vertical direta / Raiza Brito Cipriano ; André Luiz Lupinacci
Massa, orientador. Niterói, 2020.
44 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2020.

1. Dutos Flexíveis. 2. Análise Estrutural. 3. Conexão
Vertical Direta. 4. Produção intelectual. I. Lupinacci
Massa, André Luiz, orientador. II. Universidade Federal
Fluminense. Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

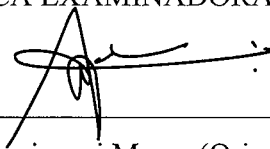
RAIZA BRITO CIPRIANO

ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE DUTO FLEXÍVEL POR CONEXÃO VERTICAL
DIRETA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de
Bacharelado em Engenharia Civil,
como requisito parcial para
conclusão do curso.

Aprovada em 15 de dezembro de 2020.

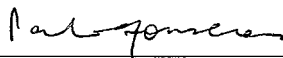
BANCA EXAMINADORA



Prof. André Luiz Lupinacci Massa (Orientador) - UFF



Prof. Élson Antônio do Nascimento - UFF



Prof. Paulo Luiz da Fonseca - UFF

Niterói

2020

RAIZA BRITO CIPRIANO

ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE DUTO FLEXÍVEL POR CONEXÃO VERTICAL
DIRETA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de
Bacharelado em Engenharia Civil,
como requisito parcial para
conclusão do curso.

Aprovada em 15 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. André Luiz Lupinacci Massa (Orientador) - UFF

Prof. Élon Antônio do Nascimento - UFF

Prof. Paulo Luiz da Fonseca - UFF

Niterói

2020

AGRADECIMENTOS

Sentimento de gratidão pela minha família - Gilsimar Cipriano, Tereza Brito e Ruan Brito Cipriano – que me deram a estrutura necessária para concluir esta etapa.

Gratidão também pelos amigos que participaram diretamente e indiretamente da minha formação, me apoiando academicamente, pessoalmente e emocionalmente ao longo de todos estes anos: Gabriel Honório, Thyago Kessons, Ana Laura Torres, Mariana Novaes, Rafaela Guimarães, Hannah Hofmann, Bruna Maia, Tadeu Vidal, Isabella Viana, Milena Rocha, Rafaela Queiroz e Thalita Gelenske.

Um especial agradecimento a Otávio Brunet, amigo cujo caráter que inspira e o bom humor transborda.

Ninguém se forma sozinho.

A vocês, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

Este trabalho visa a concepção do modelo computacional e análise de instalação de um duto flexível em condições características do pré-sal brasileiro, através da operação de conexão vertical direta de 1ª extremidade. A integridade da estrutura flexível foi verificada através da análise estática e da análise dinâmica da instalação em diferentes etapas, considerando o momento anterior ao acoplamento do MCV e o momento crítico posterior ao acoplamento do MCV. As primeiras análises indicaram que a configuração de instalação proposta inicialmente é inadequada, com resultados que ultrapassam os limites admissíveis de momento fletor e curvatura. Por fim, foi sugerida uma nova configuração do sistema, com adição de um flutuador, que viabilizou a instalação com resultados que se encontram dentro do limite resistente da estrutura.

Palavras-chave: Duto Flexível. Análise Dinâmica. Análise Estática. Conexão Vertical Direta de 1ª Extremidade.

ABSTRACT

This work aims at the conception of the computational model and installation analysis of a flexible pipe in conditions characteristic of the Brazilian pre-salt, through the operation of 1st end direct vertical connection. The integrity of the flexible structure was verified through static and dynamic installation analyses in different stages, considering the moment before the VCM (Vertical Connection Module) coupling and the critical moment after the VCM coupling. The initial analyses indicated that the initially proposed installation configuration was inadequate, with results exceeding the permissible limits of bending and curvature moment. Finally, a new system configuration was suggested, with the addition of a buoy, which made the installation possible with results within the resistant limit of the structure.

Keywords: Flexible Pipe. Dynamic Analysis. Static Analysis. 1st End Direct Vertical Connection.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Objetivos.....	3
1.2.	Estrutura do Texto	3
2.	CONCEITOS SOBRE SISTEMAS SUBMARINOS E DUTOS FLEXÍVEIS ...	5
2.1.	Sistemas Submarinos de Produção	5
2.2.	Dutos Flexíveis	6
2.3.	Umbilicais.....	8
2.4.	Acessórios da estrutura	9
2.5.	Normas aplicáveis.....	10
3.	DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE INSTALAÇÃO	11
3.1.	Equipamentos.....	13
3.1.1.	Tensionadores	13
3.1.2.	Guindastes.....	14
3.2.	Conexão Direta Vertical	15
4.	METODOLOGIA DE ANÁLISE	19
4.1.	Configurações de lançamento	20
5.	MODELO ESTRUTURAL DA INSTALAÇÃO.....	21
5.1.	Modelo Computacional.....	24
6.	ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE FLEXÍVEL.....	26

6.1.	Análise da estrutura livre	26
6.1.1.	Análise Estática da Estrutura Livre.....	27
6.1.2.	Análise Dinâmica da Estrutura Livre.....	29
6.2.	Análise da estrutura com MCV acoplado a base	32
6.2.1.	Análise Dinâmica da Estrutura Acoplada	33
6.3.	Análise da estrutura com implementação de flutuadores	35
6.3.1.	Análise Estática da Estrutura Acoplada com Uso de Flutuadores.....	36
6.3.2.	Análise Dinâmica da Estrutura Acoplada com Uso de Flutuadores	38
7.	CONCLUSÃO.....	42
7.1.	Sugestões para trabalhos futuros.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Gráfico de preços do Brent de junho de 2019 a maio de 2020. Fonte: OIL Price Charts	1
Figura 1-2 Gráfico Recursos recuperáveis x Break-even. Fonte: Rystad Energy em maio de 2019	2
Figura 2-1 Sistema de Produção Submarina. Fonte: Arquivo PETROBRAS.	5
<i>Figura 2-2 Árvore de natal molhada (ANM). Fonte: OneSubsea, 2013.</i>	<i>6</i>
Figura 2-3 Estrutura Riser e Flowline. Fonte: BARDOT GROUP, 2020.	7
Figura 2-4 Camadas de um duto flexível. Fonte: PLATEC INOVAPETRO.....	7
Figura 2-5 - Linha UEH seccionada. Fonte: PETROBRAS, 2015.....	8
Figura 2-6 Conector Seccionado. Fonte: Simeros, 2017.	9
Figura 2-7 Restritor de curvatura (vértebra).	9
Figura 3-1 - PLSV HLS Kommandor 3000. Fonte: Catálogo Subsea 7.....	11
Figura 3-2 - PLSV VLS Seven Rio. Fonte: Subsea 7.....	12
Figura 3-3 – ROV em operação. Fonte: Oceaneering, 2020.	13
Figura 3-4 Torre de lançamento vertical. Fonte: Engenharia Naval UFRJ	14
Figura 3-5 Guindaste MacGregor com compensador de ondas para operações offshore. Fonte: KHL News, 2013.....	15
Figura 3-6 Módulo de Conexão Vertical. Fonte: MACHADO, 2016.	16
Figura 3-7 Operação de CVD 1ª Fonte: XAVIER, 2006.....	16
Figura 3-8 Operação de CVD 2ª Fonte: XAVIER, 2006.....	17

Figura 3-9 Exemplo de diagrama esquemático de instalação utilizando flutuador. Fonte: Modelo Computacional.	18
Figura 5-1 Vista superior do poço característico conectado a linha AN.	21
Figura 5-2 Estrutura equipada com vértebra e conector. Fonte: AGUIAR, 2016.	22
Figura 5-3 Desenho esquemático simplificado de um MCV.....	24
Figura 5-4 Lançamento da linha com auxílio de guincho a 1964 m LDA, em escala. Fonte: Modelo Computacional.	25
Figura 5-5 Condição inicial para CVD 1ª: Estrutura e MCV suportados por guincho a 1964 m LDA.....	25
Figura 6-1 Condição inicial para CVD 1ª: Estrutura verticalizada, antes do acoplamento do MCV ao hub.	27
Figura 6-2 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2012 metros de linha submersa (1962 m + 50 m).....	28
Figura 6-3 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2012 metros de linha submersa (1962 m + 50 m).....	28
Figura 6-4 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2012 metros de linha submersa (1962 m + 50 m).....	29
Figura 6-5 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).....	30
Figura 6-6 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).....	30
Figura 6-7 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).....	31
Figura 6-8 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2013 metros de linha submersa.	31

Figura 6-9 MCV acoplado ao hub.	33
Figura 6-10 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).....	34
Figura 6-11 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico em 2013 (1963 + 50) m.	34
Figura 6-12 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2013 metros de linha submersa.	35
Figura 6-13 Condição inicial para CVD 1ª: Estrutura verticalizada, com uso de flutuadores.	36
Figura 6-14 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2015 metros de linha submersa (1965 m + 50 m).....	37
Figura 6-15 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2015 metros de linha submersa (1965 m + 50 m).....	37
Figura 6-16 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2015 metros de linha submersa.	38
Figura 6-17 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2016 metros de linha submersa (1966 m + 50 m).....	39
Figura 6-18 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2016 metros de linha submersa (1966 m + 50 m).....	39
Figura 6-19 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2016 metros de linha submersa (1966 m + 50 m).....	40
Figura 6-20 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2016 metros de linha submersa.	40

LISTA DE ABREVIACÕES

ANM: rvore de Natal Molhada

BAP: Base Adaptadora de Produção

CVD: Conexão Vertical Direta

HLS: *Horizontal Lay System*

LDA: Lâmina D'gua

MCV: Módulo de Conexão Vertical

OPEP+: Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PLSV: *Pipe Laying Support Vessels*

ROV: *Remotely Operated Vehicles*

RSV: *ROV Support Vessels*

UEH: Umbilicais Eletro-hidráulicos

UEP: Unidade Estacionária de Produção

VLS: *Vertical Lay System*

1. INTRODUÇÃO

O mundo está vivendo uma de suas maiores crises do petróleo.

A pandemia do Covid-19 causou uma queda brusca na demanda por combustíveis fósseis e seus derivados: de 99,5 milhões de barris/dia consumidos em 2019, projeções da Rystad Energy apontam para um consumo de apenas 88,7 milhões de barris/dia em 2020 – uma queda na demanda de 10,9%.

Junto com a queda da demanda, o valor do barril de petróleo (brent) caiu de US\$ 70/boe, em janeiro de 2019, para abaixo de US\$ 20 em apenas quatro meses. Cortes na produção pela OPEP+ (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) contribuíram para frear a desvalorização do barril, no entanto seu valor em maio de 2020 ainda flutuava em torno de US\$ 32/boe – interrompendo desenvolvimento de novos campos de exploração em todo o mundo.

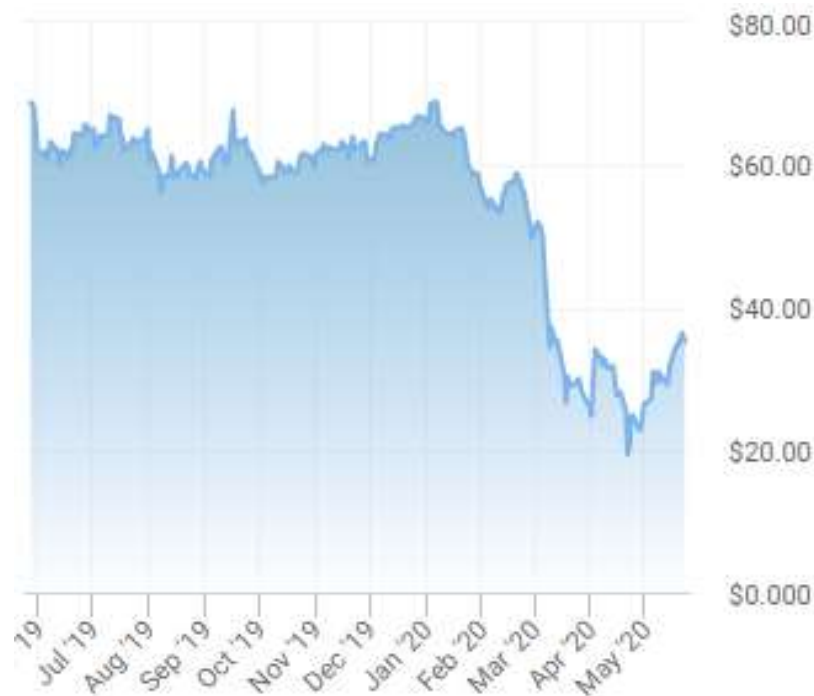


Figura 1-1 Gráfico de preços do Brent de junho de 2019 a maio de 2020. Fonte: OIL Price Charts

Este cenário de preços baixos obriga as operadoras a reverem seus planejamentos financeiros e a pensarem em seus investimentos de forma mais conservadora. Assim, ganha

prioridade o desenvolvimento de ativos de baixo break-even e são cancelados projetos de maior risco.

Real Brent Break-even price, USD/bbl

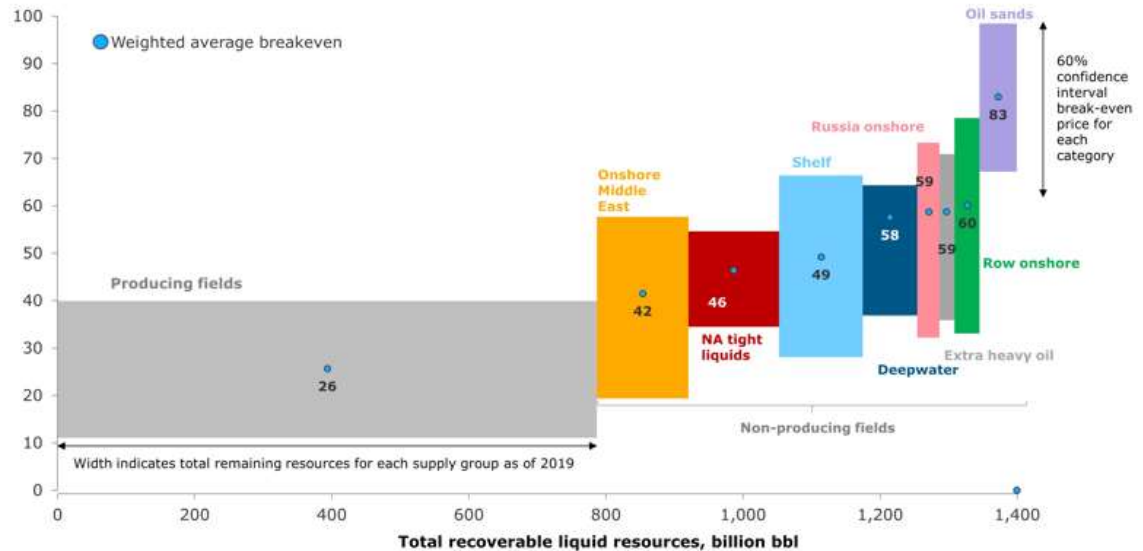


Figura 1-2 Gráfico Recursos recuperáveis x Break-even. Fonte: Rystad Energy em maio de 2019

Neste mercado cíclico e sensível de óleo e gás, o pré-sal brasileiro ganha destaque: seus poços produzem cerca de 10 vezes mais que os poços de águas rasas e os intensos investimentos tecnológicos estão tornando sua exploração mais competitiva, com projeções de break-even na faixa de US\$30 a US\$40/boe até 2030, segundo declaração do chefe executivo da PETROBRAS Rudimar Andres Lorenzatto na OTC Houston 2019.

Esta alta produtividade associada a valores competitivos de investimento necessários ao desenvolvimento de campos em águas ultra profundas colocam o pré-sal brasileiro como concorrente forte do shale oil americano, representado no gráfico acima como “NA tight liquids”. Mesmo tendo custos muito maiores que a exploração no Oriente Médio, o pré-sal se torna atrativo por estar em área considerada de baixo risco político-bélico, sendo pouco sensível a sanções, ataques e bloqueios.

A resiliência do petróleo brasileiro tente a ser recompensada em 2025. Os cortes de produção e de investimentos em E&P, combinados com o crescimento natural da demanda global por energia, deverão gerar um *déficit* de cerca de 5 milhões de barris por dia em 2025, com preços subindo até US\$68/boe (*Upstream*, em 30/04/2020).

Portanto, mesmo com a atual crise, a alta produtividade do pré-sal coloca o mercado brasileiro de E&P em posição de destaque para futuros investimentos, competindo diretamente em lucratividade com o mercado do shale americano e sendo uma alternativa aos arriscados investimentos do Oriente Médio. Este destaque faz valer o investimento interno brasileiro em pesquisa, desenvolvimento e tecnologia dentro do setor, que tende ainda a gerar muitas oportunidades de trabalho aos profissionais e empresas que se mantiverem resilientes.

1.1. Objetivos

Este estudo objetiva apresentar conhecimentos necessários à análise de instalação de um duto flexível conectado a um Módulo de Conexão Vertical (MCV) em águas profundas pelo método de Conexão Vertical Direta (CVD) de 1ª extremidade.

Para isso é realizado um estudo de caso através da elaboração do modelo computacional representativo e análise estrutural das principais etapas de instalação por conexão vertical direta de 1ª extremidade.

1.2. Estrutura do Texto

Este estudo segue a seguinte organização:

Capítulo 1: Introdução do trabalho e objetivos.

Capítulo 2: Contextualização e apresentação dos principais conceitos relacionados a sistema submarino de produção composto por dutos flexíveis e umbilicais.

Capítulo 3: Contextualização e apresentação dos principais conceitos relacionados aos métodos de instalação de dutos.

Capítulo 4: Apresentação da metodologia de análise empregada neste estudo.

Capítulo 5: Apresentação do modelo estrutural da instalação.

Capítulo 6: Análise estrutural da linha durante a operação de conexão vertical direta de 1ª extremidade

Capítulo 7: Conclusões

2. CONCEITOS SOBRE SISTEMAS SUBMARINOS E DUTOS FLEXÍVEIS

2.1. Sistemas Submarinos de Produção

Um sistema submarino de produção é o conjunto de dutos e equipamentos interligados e apoiados sob o leito marinho com a função de conduzir, controlar e monitorar o escoamento dos fluidos extraídos do poço até uma unidade estacionária de produção (UEP) (SILVA, 2015).

Seus principais componentes são:

- Poços de produção;
- Árvores de natal molhadas (ANM) encaixadas nas cabeças dos poços para controle de vazão dos fluidos produzidos ou injetados;
- *Manifolds* que conjugam a produção de dois poços ou mais, de forma a convergir toda a produção para um único riser;
- Dutos flexíveis para o transporte de fluidos entre equipamentos e UEP.



Figura 2-1 Sistema de Produção Submarina. Fonte: Arquivo PETROBRAS.



Figura 2-2 Árvore de natal molhada (ANM). Fonte: OneSubsea, 2013.

2.2. Dutos Flexíveis

Xavier, 2005, define a linha flexível como sendo uma estrutura composta por diversas camadas metálicas e poliméricas que, trabalhando solidariamente, propiciam resistência e estanqueidade sem comprometer a necessária flexibilidade para a condução de diversos fluidos da indústria de petróleo, principalmente, na produção de petróleo no mar.

Esta estrutura é projetada de acordo com sua aplicação:

- *Risers* são linhas flexíveis suspensas, usualmente em configuração de catenária conectando a UEP aos *flowlines*, sujeitas a cargas dinâmicas durante toda a vida útil da estrutura, passíveis de altas cargas de tração e compressão.
- *Flowlines* são estruturas que ficam apoiadas no leito marinho, conectando os risers até o manifold ou a ANM, sujeitas principalmente a cargas estáticas de

pressão hidrostática, passíveis de cargas dinâmicas apenas durante sua instalação.

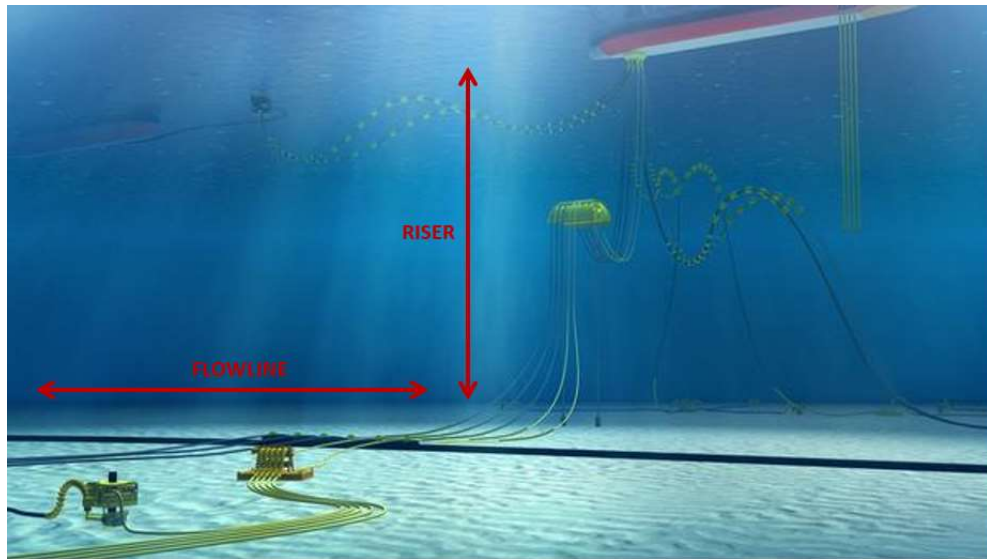


Figura 2-3 Estrutura Riser e Flowline. Fonte: BARDOT GROUP, 2020.

As camadas típicas da estrutura estão representadas abaixo, na Figura 2-4:



Figura 2-4 Camadas de um duto flexível. Fonte: PLATEC INOVAPETRO.

Suas principais funções são:

- Carcaça Intertravada: Resistência a pressão hidrostática. Evita o colapso da camada polimérica de vedação em caso crítico de descompressão interna.

- Barreira polimérica interna: Vedação interna, constituída de material resistente a ataques químicos.
- Armadura de pressão: Proporciona rigidez radial e resistência à pressão interna.
- Armadura de tração: Resistência as altas cargas axiais de tração provocadas por cargas dinâmicas.
- Capa externa: Proteção contra abrasão e danos à estrutura durante a instalação, isolamento térmico e proteção contra corrosão.
- Proteção anti-abrasiva: Proteção contra abrasão devido as cargas dinâmicas na região do *touch down point* do *riser*, onde este toca o leito marinho.

2.3. Umbilicais

Linhas de umbilicais eletro-hidráulicos (UEH) tem como função o controle remoto de equipamentos, válvulas e injeção de químicos, sendo fundamentais para o devido monitoramento e controle de todo o sistema submarino.

Sua estrutura é formada por tubos e mangueiras plásticas de alta resistência a pressão e cabos elétricos, com armaduras metálicas e está representada na Figura 2-5:



Figura 2-5 - Linha UEH seccionada. Fonte: PETROBRAS, 2015.

2.4. Acessórios da estrutura

- Conector

É instalado na extremidade da linha e tem como função conectar linhas e equipamentos. É caracterizado pelo modelo de flange.



Figura 2-6 Conector Seccionado. Fonte: Simeros, 2017.

- Vértebra

Acessório fixado na extremidade da linha, antes do conector, com a função de limitar a curvatura da estrutura, evitando danos durante etapas críticas de instalação.



Figura 2-7 Restritor de curvatura (vértebra).

2.5. Normas aplicáveis

As principais normas aplicáveis ao uso offshore de dutos flexíveis e umbilicais estão listadas abaixo:

- API-RP17B (2ª edição, Julho, 1998) – Recommended Practice for Flexible Pipe;
- API-SPEC 17J (4ª edição, Maio, 2014) – Specification for Unbonded Flexible Pipe;
- ISO-13628-2 (2ª edição, Julho, 2006) – Petroleum and Gas Industries- Part 2 – Flexible Pipe Systems for Subsea Applications;
- API-RP17I (1996) – Recommended Practice for Flexible Umbilicals;
- API-SPEC 17E (5ª edição, Julho, 2017) – Specification for Subsea Umbilicals.

3. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE INSTALAÇÃO

A instalação de dutos flexíveis no Brasil é feita por navios do tipo *Pipe Laying Support Vessels* (PLSVs) construídos especialmente para atender as particularidades e desafios da exploração do Pré-Sal, com capacidade de lançamento/recolhimento de linhas flexíveis em águas rasas, profundas e ultra profundas, com profundidades máximas próximas de 2500 metros.

Os PLSVs são classificados pelo seu método de lançamento de linha, podendo ser do tipo:

- *Horizontal Lay System* (HLS) – Sistema de lançamento horizontal, possui tensionadores posicionados na horizontal para a passagem da linha flexível.
- *Vertical Lay System* (VLS) – Sistema de lançamento vertical, caracterizado pela presença de uma torre que sustenta os tensionadores em posição vertical.



Figura 3-1 - PLSV HLS Kommandor 3000. Fonte: Catálogo Subsea 7.



Figura 3-2 - PLSV VLS Seven Rio. Fonte: Subsea 7.

As embarcações do tipo *HLS* dominaram o mercado por muito tempo, no entanto com o avanço da profundidade de exploração dos poços ao longo dos anos, o método de lançamento horizontal se mostrou limitado, abrindo espaço para o desenvolvimento de embarcações do tipo *VLS*, que possuem maior capacidade de carga.

Atualmente a PETROBRAS, principal operadora no Brasil, por exemplo, afreta uma frota de 13 *PLSVs* para a instalação de seus dutos submarinos e equipamentos.

Para apoiar esta atividade de lançamento de linhas, as operadoras contam com embarcações de *ROV Support Vessels (RSVs)*. Estas embarcações são equipadas com *Remotely Operated Vehicles (ROVs)* estão aptas a atividades como desancoragem de linhas, desconexão entre tramos, preparação de extremidades para pescaria, descruzamentos entre outras tantas operações necessárias para o livre recolhimento da linha pelo *PLSV*.

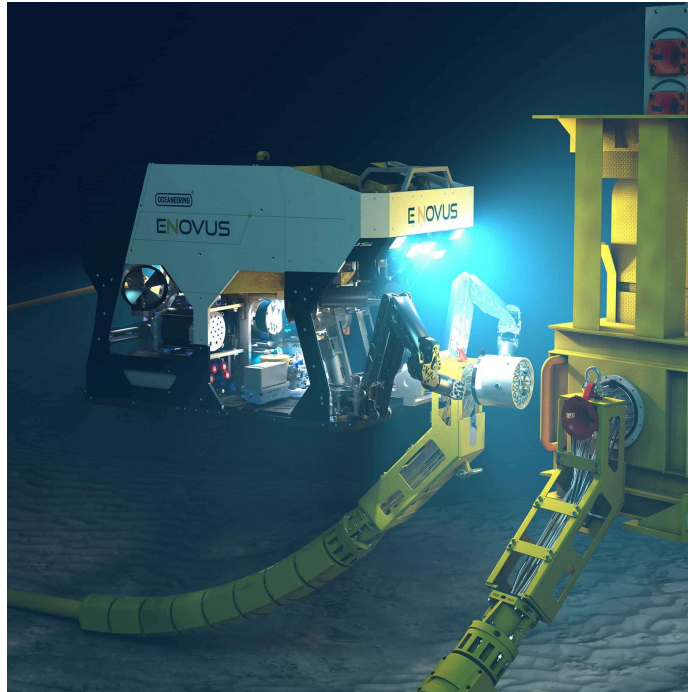


Figura 3-3 – ROV em operação. Fonte: Oceaneering, 2020.

3.1. Equipamentos

Os principais equipamentos de um *PLSV* para o manuseio e lançamento de linha flexível

3.1.1. Tensionadores

O principal componente do *layout* de um *PLSV* é a sua torre de lançamento, comumente localizada no centro da embarcação. Ela é a estrutura metálica que dá suporte aos tensionadores, responsáveis pelo aperto na linha. São eles que sustentarão toda a carga de tração axial imposta pela instalação, possibilitando o movimento de recolhimento/lançamento em velocidade constante.



Figura 3-4 Torre de lançamento vertical. Fonte: Engenharia Naval UFRJ

3.1.2. Guindastes

Guindastes em *PLSVs* são fundamentais para a movimentação de equipamentos submarinos, para as diferentes operações de instalação de dutos e para a movimentação de carga no convés.

Os mais modernos possuem sistema compensador de movimento, de forma a minimizar a influência do movimento das ondas, facilitando operações que necessitam de precisão, como a operação de conexão direta vertical.



*Figura 3-5 Guindaste MacGregor com compensador de ondas para operações offshore.
Fonte: KHL News, 2013*

3.2. Conexão Vertical Direta

Uma das principais operações de instalação de linhas flexíveis realizadas pelo *PLSV* é a CVD (Conexão Vertical Direta). Esta operação tem por objetivo conectar equipamentos submarinos a linhas flexíveis através do uso de MCVs (Módulo de Conexão Vertical) e foi desenvolvido como uma alternativa às metodologias *lay-away* e conexões horizontais, sendo esta nova metodologia de instalação mais simples, possibilitando a redução de tempo de instalação, o uso de *manifolds* menores, viabilizando a recuperação dos MCVs e dando maior flexibilidade ao desenvolvimento projetos de layouts submarinos e seus planos de instalação.

Todos estes benefícios decorrentes da simplicidade construtiva desta operação garantem um baixo custo operacional, justificando a preferência desta metodologia pelas operadoras e empresas instaladoras.



Figura 3-6 Módulo de Conexão Vertical. Fonte: MACHADO, 2016.

A operação é classificada pela ordem de instalação da linha flexível, podendo ser intitulada como:

- Conexão Vertical Direta de 1ª Extremidade – Operação de instalação da 1ª extremidade da linha flexível, onde o MCV é conectado ao equipamento enquanto a 2ª extremidade se encontra ainda no *PLSV*. Após a CVD 1ª, a linha é lançada no leito marinho, conforme o arranjo submarino.

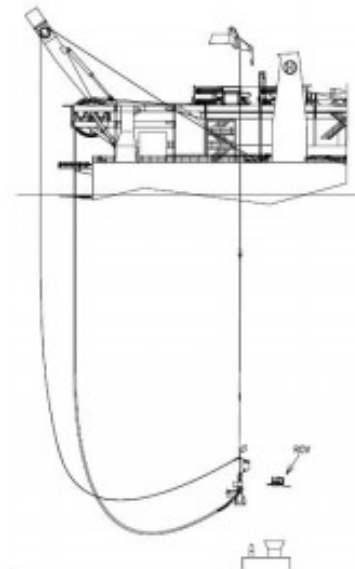


Figura 3-7 Operação de CVD 1ª Fonte: XAVIER, 2006.

- Conexão Vertical Direta de 2ª Extremidade – Operação de instalação da 2ª extremidade da linha flexível com um MCV, quando o restante da linha já está apoiado no leito marinho.

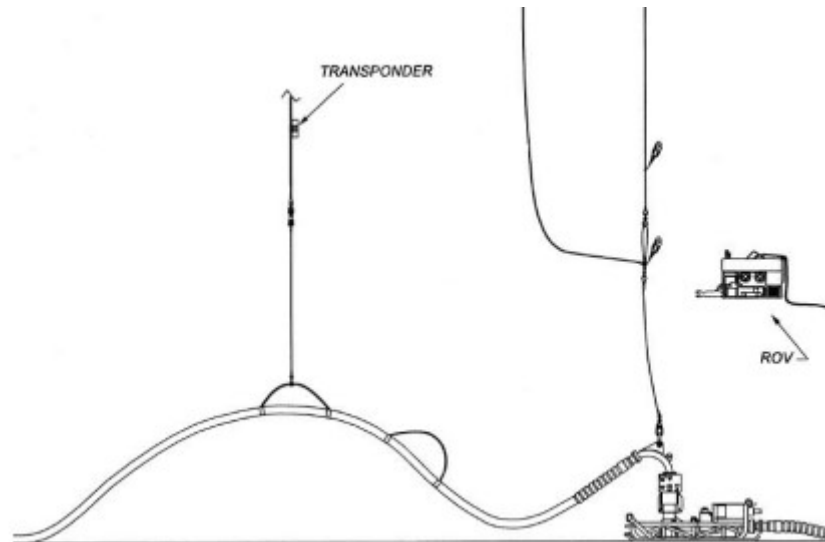


Figura 3-8 Operação de CVD 2ª Fonte: XAVIER, 2006.

3.3. Acessórios para verticalização

Para perfeita conexão vertical da estrutura a um equipamento, é necessário que o MCV esteja o mais alinhado possível com o eixo do hub. O processo de verticalização do MCV permite, em geral, uma variação máxima de $\pm 0,5\%$ e é possível através do correto uso dos seguintes acessórios:

- Flutuadores

São boias acopladas a linha no momento do lançamento, preferencialmente na altura da vértebra, capazes de influenciar no grau de rotação do MCV aliviando o peso da linha.

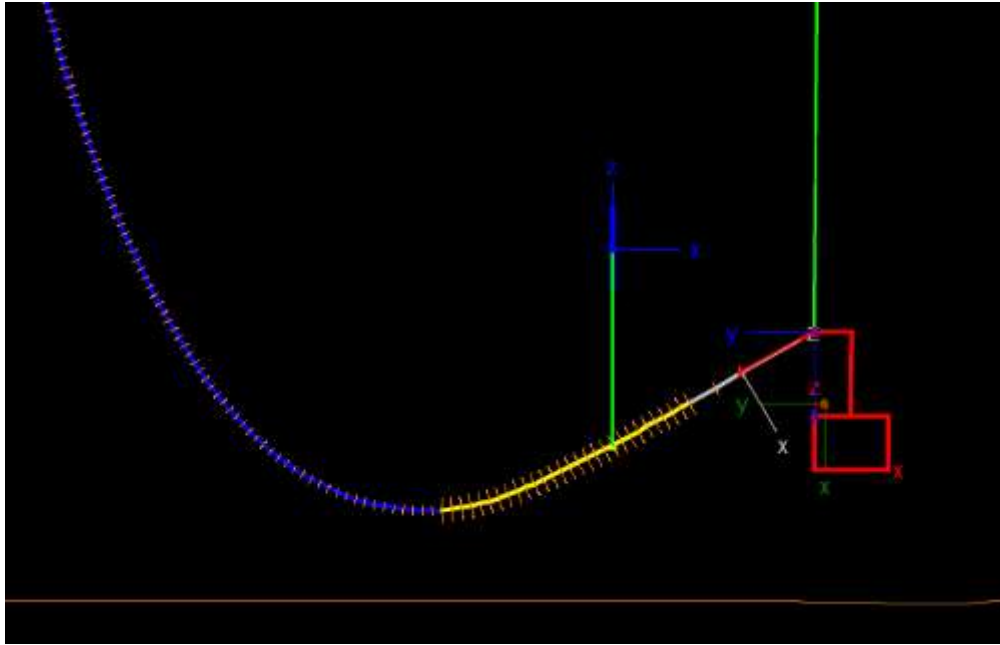


Figura 3-9 Exemplo de diagrama esquemático de instalação utilizando flutuador. Fonte: Modelo Computacional.

- Pé-de-galinha

Como alternativa a instalação de flutuadores, que pode ter custo operacional elevado, podemos aliviar o peso da linha através do manuseio de cabos de polipropileno amarrados a linha, também conhecidos como “pé-de-galinha”.

- Peso-morto

Peso-morto pode ser fixado no *gooseneck* do MCV para provocar uma rotação contrária as causadas pelos flutuadores e pés-de-galinha.

Uma vez verticalizado, o MCV está em posição para ser acoplado ao equipamento.

4. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Para realizarmos a análise estrutural da linha flexível durante a operação de CVD 1^a, utilizaremos um *software* baseado no método dos elementos finitos.

Podemos obter a resposta de um sistema através de equações diferenciais e condições de contorno representativas à situação, no entanto estruturas são contínuas e oferecem um número infinito de incógnitas. O método dos elementos finitos é capaz de obter a solução destes sistemas através da análise de um sistema discretizado equivalente, com número finito de incógnitas.

Para isso desenvolvemos um modelo 3D simplificado, discretizado e representativo utilizando o software Orcaflex, capaz de definir a posição da estrutura e obter a solução das equações de equilíbrio.

A modelagem e análise da estrutura seguiu a sequência apresentada abaixo:

- 1º. Definição dos dados de entrada para a caracterização do sistema
 - Propriedades da estrutura, seus acessórios e equipamentos
- 2º. Posicionamento do modelo e verticalização da estrutura;
 - O MCV deve estar alinhado com o eixo do *hub*, com desalinhamento angular máximo de $\pm 0,5\%$.
- 3º. Análise estática do sistema;
 - Esta análise se caracteriza pela constância de seus carregamentos e propriedades ao longo do tempo. Isso possibilita a definição de equações de equilíbrio, deslocamentos e deformações, reações de apoio e esforços internos na estrutura – condições básicas para uma análise estática, contendo resultados constantes ao longo do tempo. (MARTHA, 2017)
- 4º. Análise dinâmica do sistema, simulando situação crítica;
 - A análise dinâmica é caracterizada por carregamentos com velocidades não desprezíveis, variando ao longo do tempo. Por consequência desta ação

vibratória, os resultados da análise dinâmica também variam ao longo do tempo. (SILVA, 2015)

- Para a análise de vibração livre, considera-se caso crítico: Movimento de *heave up* de 2,5 metros, simulando condições adversas de mar.

5°. Interpretação dos resultados.

- Comparação dos esforços internos máximos atuantes e a capacidade resistente da estrutura, sob perspectiva da análise do momento fletor e curvatura.

4.1. Configurações de lançamento

A análise estrutural é realizada nas diferentes etapas do lançamento:

1°. Posição de equilíbrio com extremidade livre

Este caso representa o momento anterior ao acoplamento do MCV ao *hub*, este em configuração verticalizada, com anular do duto considerado alagado e extremidade livre.

2°. MCV acoplado

Esta etapa representa o momento posterior ao acoplamento do MCV, com anular do duto considerado alagado, extremidade fixada e linha suspensa pela embarcação.

Esta configuração é considerada crítica, onde a aplicação do movimento de *heave up* gerará o momento máximo na estrutura.

4.2. Critérios de Aceitação

Os principais aspectos a serem avaliados neste estudo serão a curvatura e o momento fletor atuante na estrutura na extremidade onde ocorrerá a conexão vertical direta, respeitando as limitações de raio mínimo de curvatura (*MBR*) da vértebra e as tensões máximas suportadas por esta.

5. MODELO ESTRUTURAL DA INSTALAÇÃO

Trataremos da análise de instalação tipo CVD 1ª extremidade, por MCV-A, de uma linha de *gaslift* em *hub* anular da BAP de poço característico do pré-sal, a uma profundidade de 2015 m LDA. A operação será realizada por uma embarcação do tipo *PLSV*, com auxílio de guindaste.

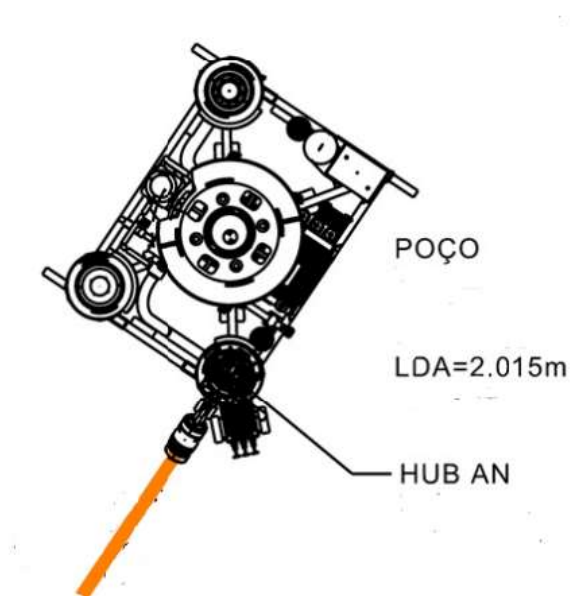


Figura 5-1 Vista superior do poço característico conectado a linha AN.

A estrutura de *gaslift* a ser instalada está equipada com um conector e reforçada com uma vértebra, ambos com dimensões adequadas a estruturas de 4". O conector realiza a conexão e estanque entre a estrutura e a flange do MCV.

Abaixo estão as características da estrutura, de seus acessórios e MCV utilizados durante a análise da instalação.



Figura 5-2 Estrutura equipada com vértebra e conector. Fonte: AGUIAR, 2016.

Tabela 1 - Características da Estrutura de Gaslift

Características da estrutura	Valor
Diâmetro Interno [m]:	0,10
Diâmetro Externo [m]:	0,17
Peso no ar (vazio) [kgf/m]:	57,58
Peso no ar (alagado com água do mar) [kgf/m]:	66,68
Peso submerso (vazio) [kgf/m]:	34,82
Peso submerso (Alagado com água do mar) [kgf/m]:	43,92
MBR (Raio mínimo de instalação) [m]:	1,67
Resistência a flexão [kN.m ²]:	3,99
Rigidez Axial [kN]:	271687,45
Densidade do conteúdo [kgf/m ³]:	1025,00
Condição de Instalação:	Alagado

O anular da estrutura é, para fins de análise, considerado na condição alagada. Esta é a condição crítica de lançamento, quando o atrito entre as camadas internas está comprometido, reduzindo a rigidez da estrutura.

Tabela 2 - Características da Vértebra

Características da Vértebra	Valor
Diâmetro Externo [m]:	0,48
Peso no ar [kgf]:	1179,00
Peso submerso [kgf]:	1002,00
Extensão total livre [m]:	5,55
Raio de travamento [m]:	1,97
Momento fletor máximo [kN m]	47,00

Tabela 3 - Características do Conector

Características do Conector	Valor
Peso no ar [kgf]:	609,00
Peso submerso [kgf]:	540,00
Comprimento [m]:	1,25

Tabela 4 - Características do MCV

Características do MCV	Valor
a [grau]:	60,00
Seabed Profile Type [m]:	0, 4, 8, 12
A [mm] @ 0m:	4272,00
A [mm] @ 4m ou @ 5m:	4542,00
A [mm] @ 8m ou @ 10 m:	4832,00
A [mm] @ 12 m:	4762,00
B [mm]:	833,00
C [mm]:	1491,00
D [mm]:	623,00
E [mm]:	1694,00
F [mm]:	1964,00
G [mm]:	1866,00
Peso no ar [kgf]:	6752,00
Peso submerso [kgf]:	7761,00

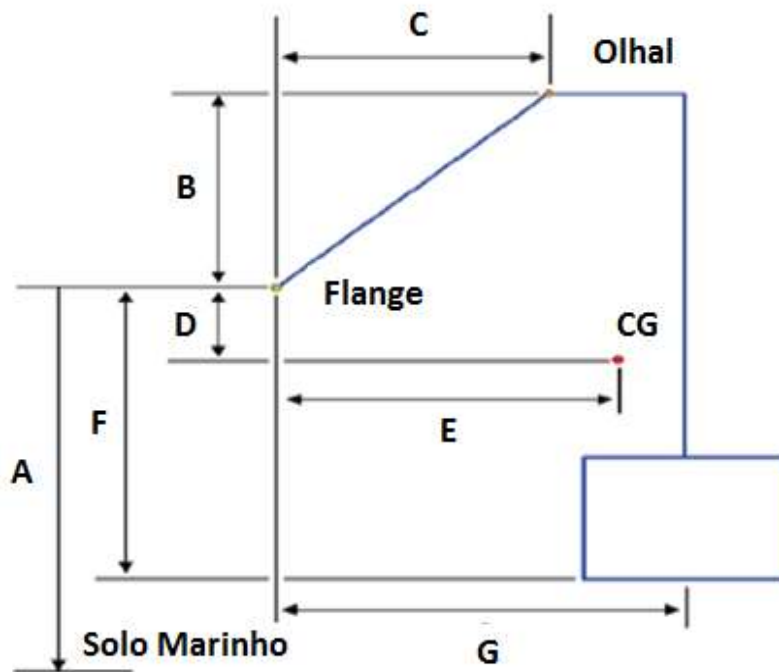


Figura 5-3 Desenho esquemático simplificado de um MCV

5.1. Modelo Computacional

A operação de instalação foi modelada utilizando o *software* OrcaFlex, considerando as condições de mar, dados das estruturas e equipamentos previamente determinados. Para simplificação, os primeiros 50 metros de linha abaixo da linha d'água não foram considerados no modelo e foram adicionados manualmente posteriormente.

Como resultado, a condição inicial da análise fica caracterizada pela estrutura lançada a 1964 metros de profundidade, a uma distância de 51 metros do leito marinho, conforme as imagens abaixo, retiradas do modelo computacional:

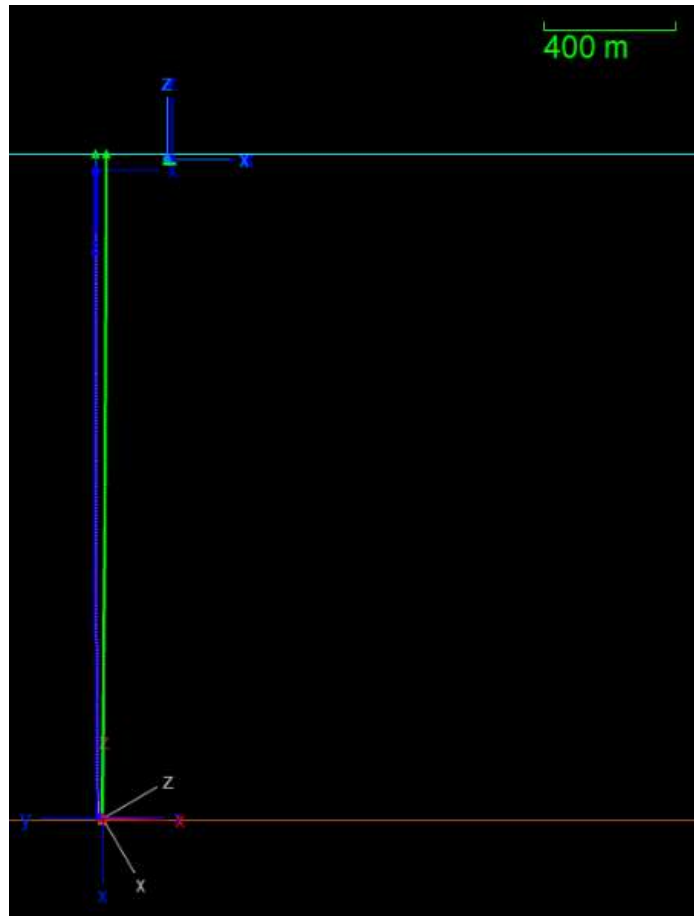


Figura 5-4 Lançamento da linha com auxílio de guincho a 1964 m LDA, em escala. Fonte: Modelo Computacional.

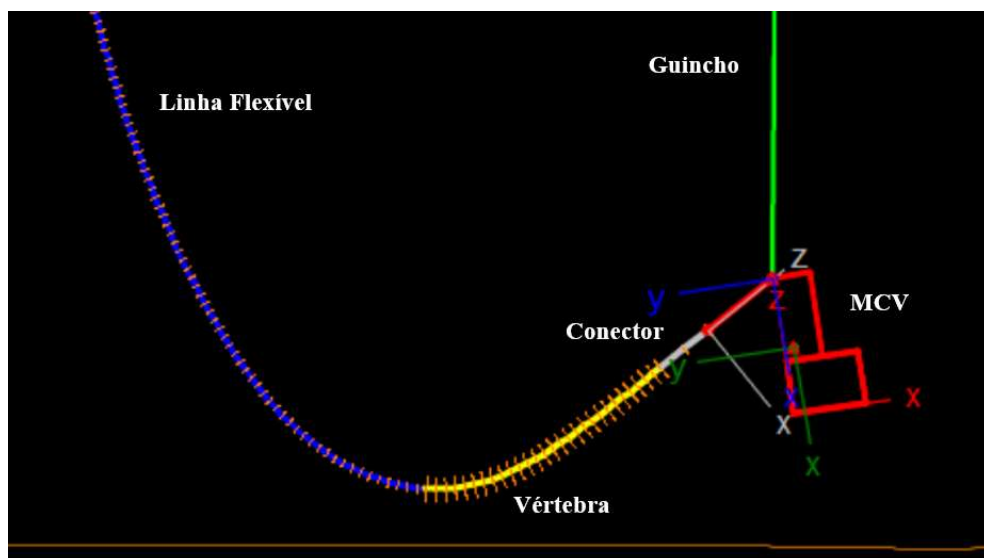


Figura 5-5 Condição inicial para CVD 1ª: Estrutura e MCV suportados por guincho a 1964 m LDA.

Fonte: Modelo Computacional

6. ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE FLEXÍVEL

A análise se dará através da simulação computacional da aproximação e acoplamento do MCV ao *hub* da BAP, com o objetivo de avaliar a curvatura e o momento fletor atuante sobre a linha durante a operação.

6.1. Análise da estrutura livre

Para viabilizar o acoplamento do equipamento, ao aproximar o MCV do *hub*, buscou-se a configuração verticalizada de modo a respeitar a angulação de $\pm 0,5^\circ$. Assim sendo, a análise da estrutura livre se deu na configuração:

Tabela 5 - Configuração inicial da estrutura

Profundidade	1964 m
Rotação do MCV	0,03°
Comprimento de Linha Submersa	2017 m
Condição de apoio da extremidade	Livre

Tabela 6 - Discretização da estrutura

Estrutura	Comprimento da seção (m)	Número de segmentos por seção	Comprimento dos seguimentos (m)
Linha	50	1	50
Linha	25	12	2
Linha	1875	234	8
Linha	20	10	2
Linha	20	40	0,50
Linha	20	100	0,20
Vertebra	5,55	28	0,20
Conector	1,25	2	0,62

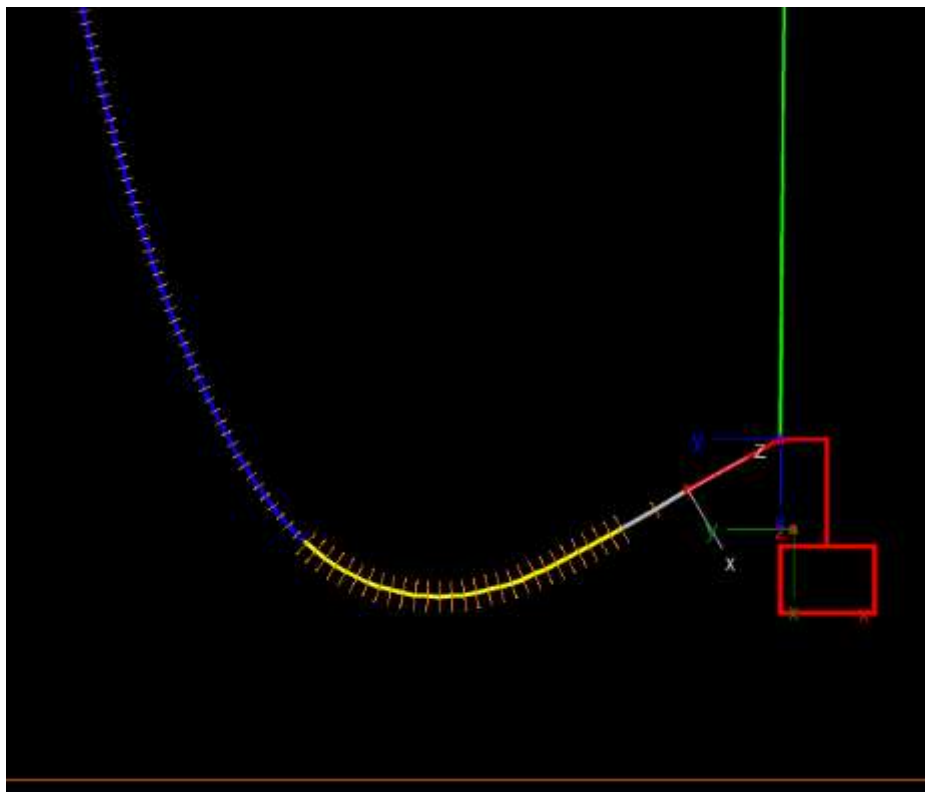


Figura 6-1 Condição inicial para CVD 1ª: Estrutura verticalizada, antes do acoplamento do MCV ao hub.

6.1.1. Análise Estática da Estrutura Livre

A análise estática da estrutura apontou momentos fletores que chegam a valores de 31,3 kN.m, com curvatura máxima de 0,34 rad/m, ocorrendo na vértebra a 5 metros da extremidade inferior.

A seguir estão os gráficos da curvatura e dos esforços ao longo da estrutura, retirados do *software* Orcaflex:

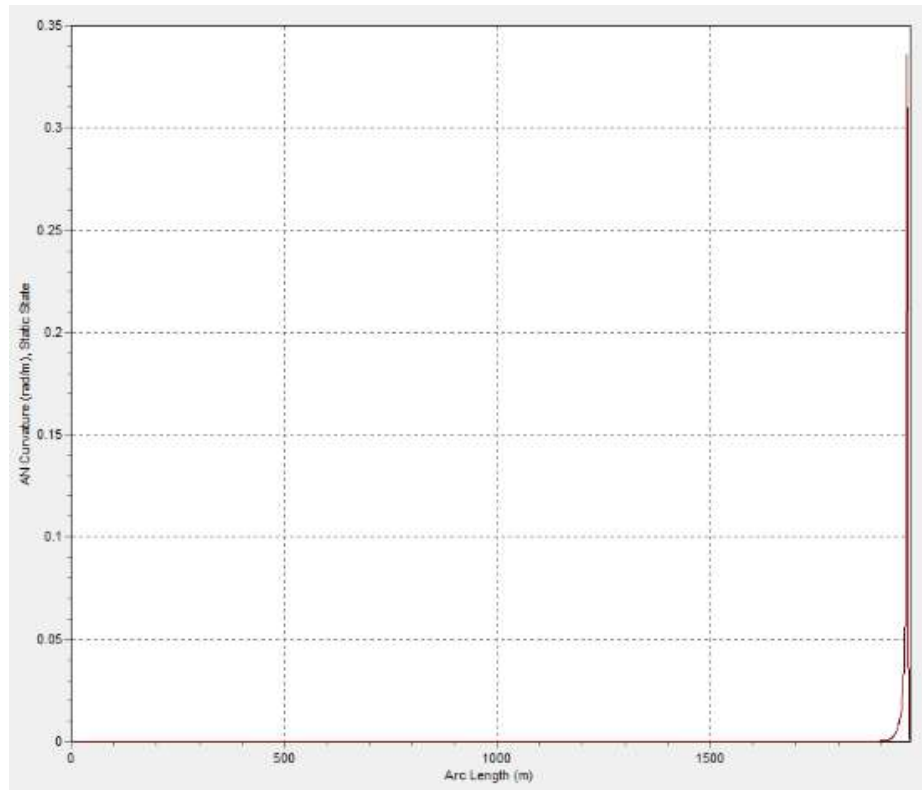


Figura 6-2 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2012 metros de linha submersa (1962 m + 50 m).

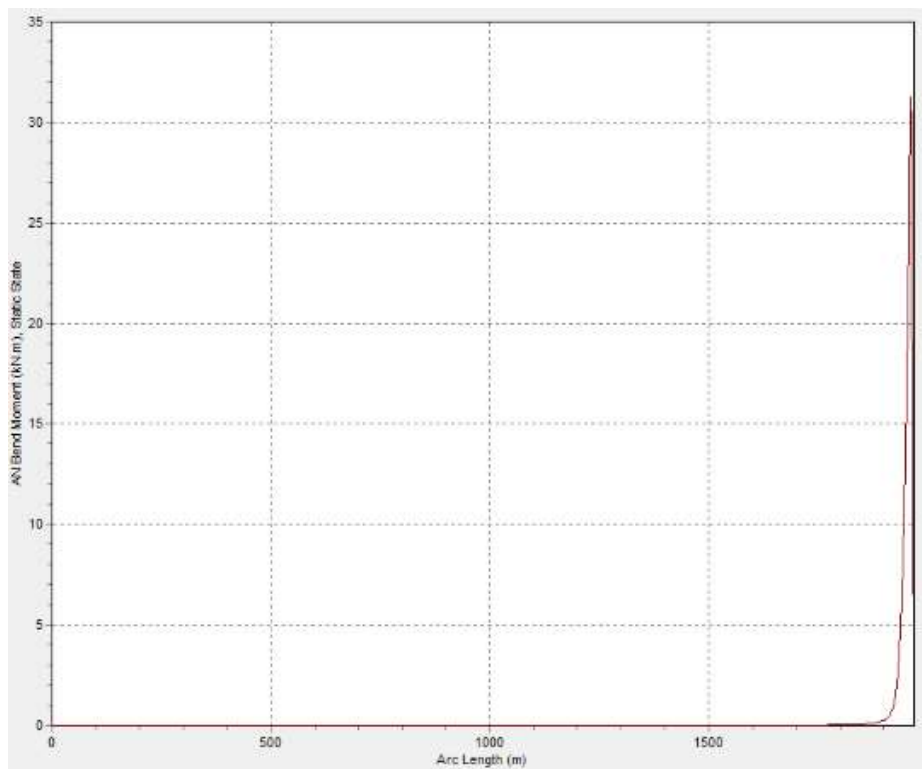


Figura 6-3 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2012 metros de linha submersa (1962 m + 50 m).

O Gráfico (Figura 6-4) mostra que, na configuração estática, a estrutura suporta os esforços de momento atuantes.

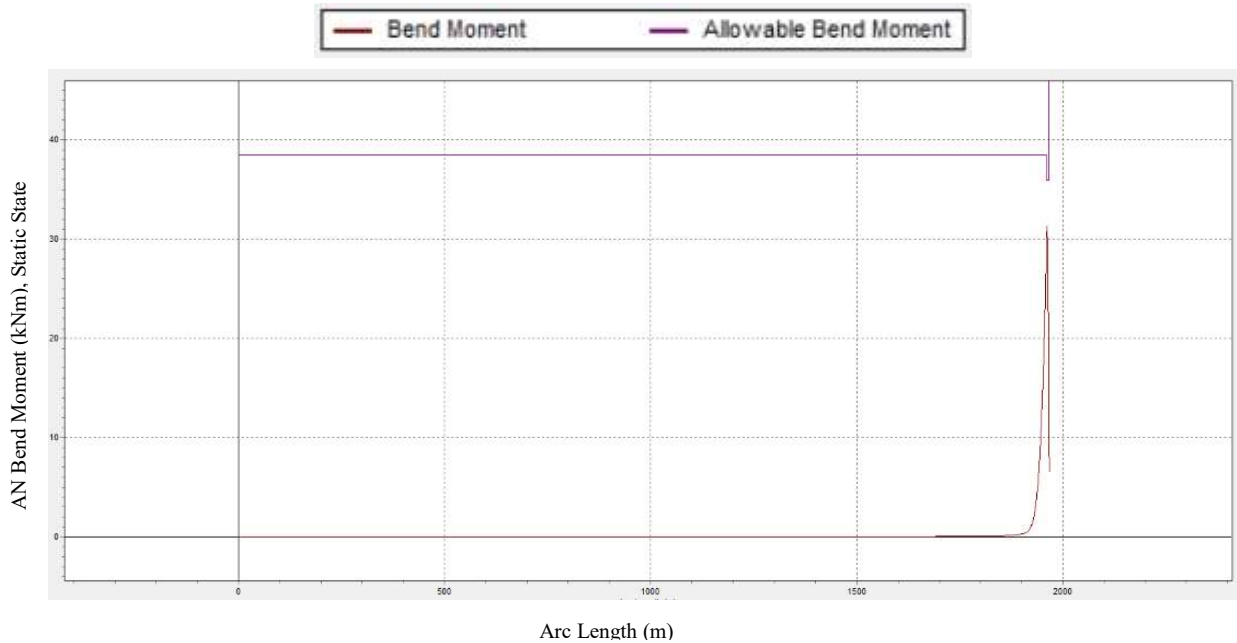


Figura 6-4 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2012 metros de linha submersa (1962 m + 50 m).

6.1.2. Análise Dinâmica da Estrutura Livre

A análise de vibração livre decorrente da simulação de movimento de *heave up* de 2,5 metros resultou em momentos fletores atuantes que variaram entre 30,0 kN.m e 32,5 kN.m, ocorrendo na vértebra a 4 metros da extremidade inferior, compatíveis com a resistência da estrutura (Figura 6-5 e 6-6).

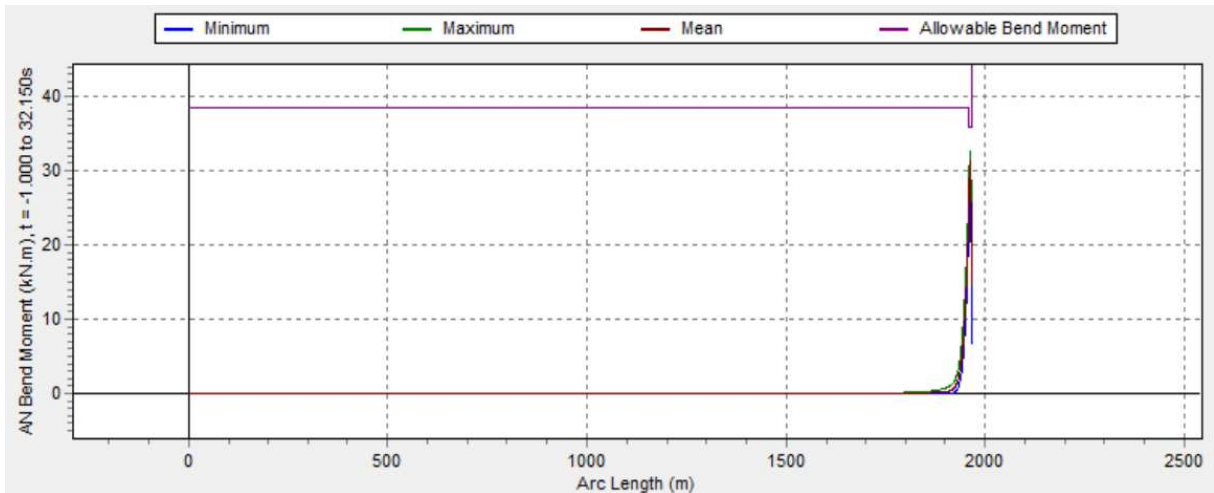


Figura 6-5 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).

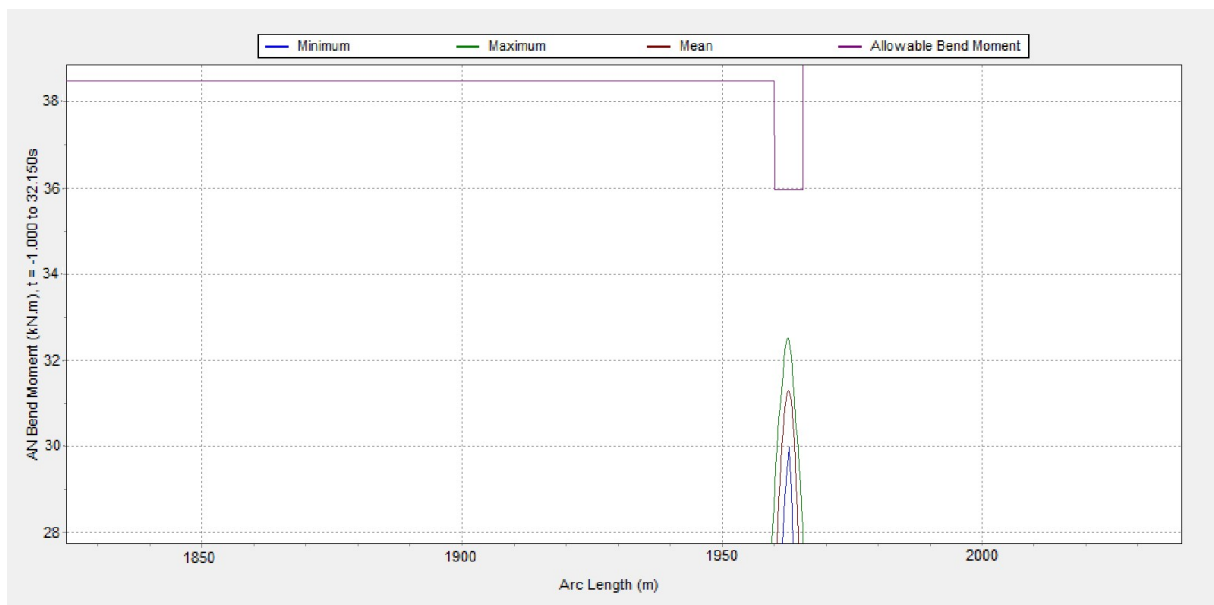


Figura 6-6 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).

De forma análoga, análise de curvatura também se encontrou dentro do raio limite da estrutura (Figura 6-7).

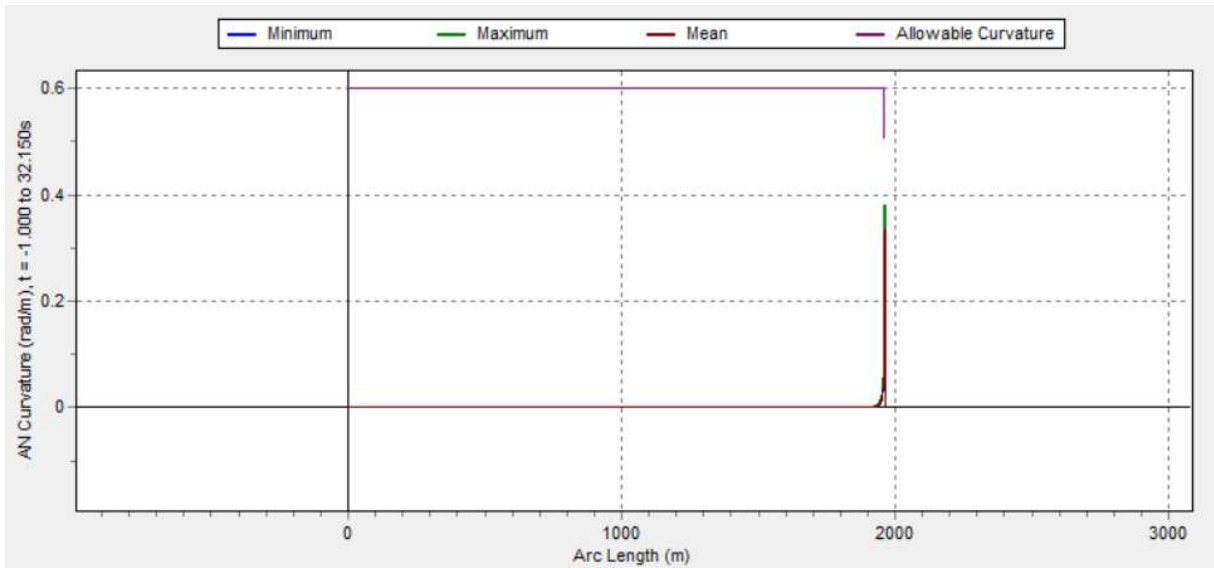


Figura 6-7 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).

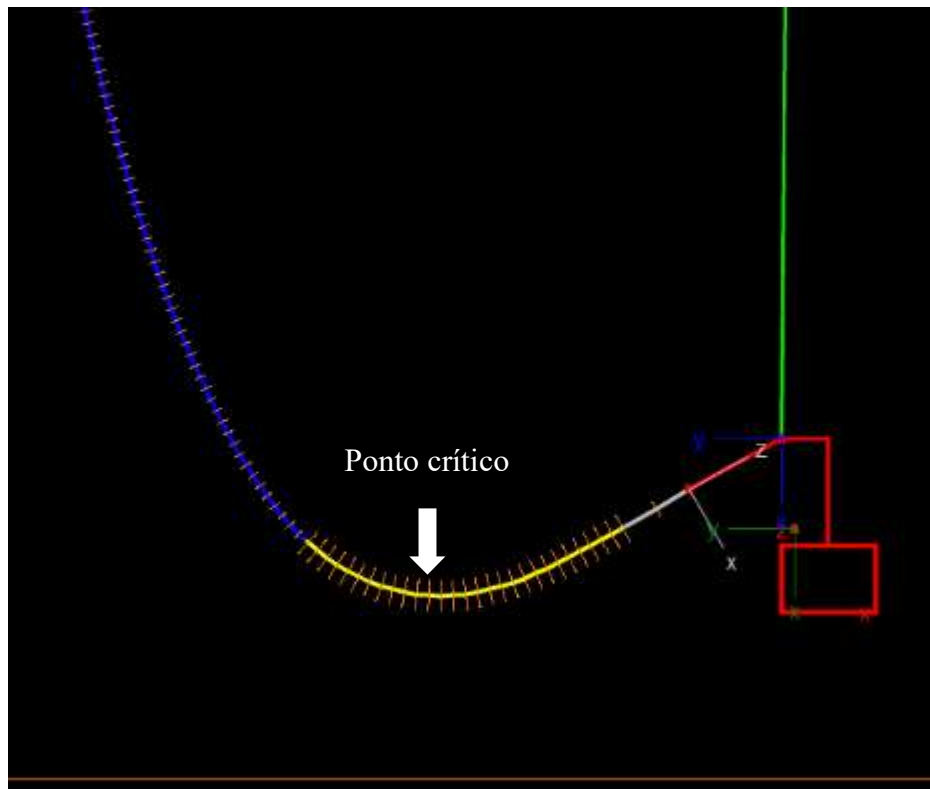


Figura 6-8 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2013 metros de linha submersa.

6.2. Análise da estrutura com MCV acoplado a base

Em uma segunda etapa da operação, com o MCV já verticalizado, é realizado o acoplamento da extremidade da estrutura ao *hub* da BAP, configurando uma catenária com a extremidade fixada. Esta operação é realizada com apoio do guindaste, sem que os tensionadores paguem linha.

Tabela 7 - Configuração inicial da estrutura

Profundidade	2011 m
Rotação do MCV	0,00°
Comprimento de Linha Submersa	2017 m
Condição de apoio da extremidade	Fixada

Tabela 8 - Discretização da estrutura

Estrutura	Comprimento da seção (m)	Número de segmentos por seção	Comprimento dos seguimentos (m)
Linha	50	1	50
Linha	25	12	2
Linha	1875	234	8
Linha	20	10	2
Linha	20	40	0,50
Linha	20	100	0,20
Vertebra	5,55	28	0,20
Conector	1,25	2	0,62

Nesta configuração, mais crítica quando comparada a configuração anterior de extremidade livre, é feita a análise dinâmica para a nova verificação dos esforços na estrutura.

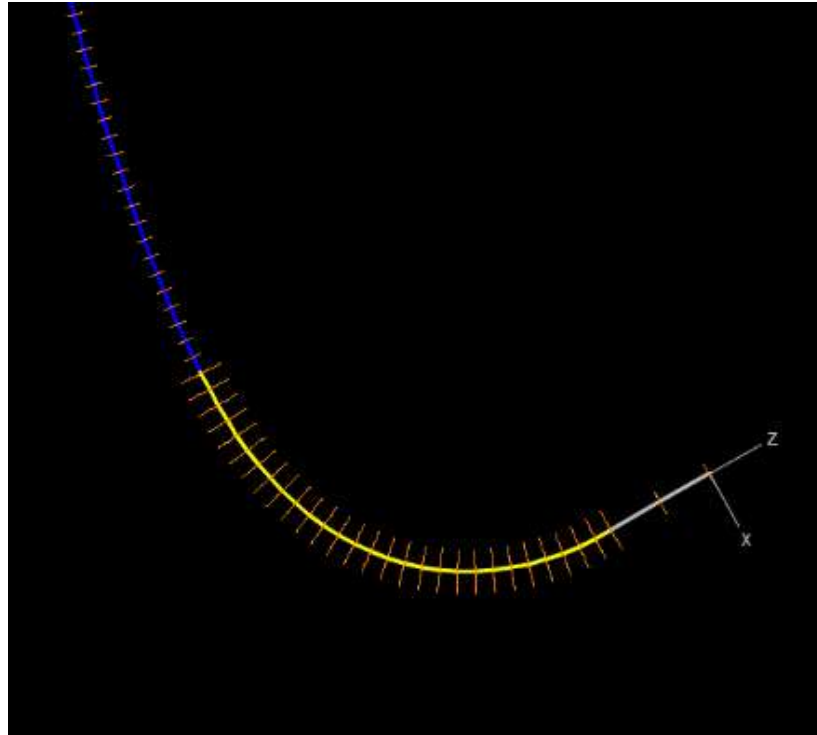


Figura 6-9 MCV acoplado ao hub.

6.2.1. Análise Dinâmica da Estrutura Acoplada

A análise de vibração livre, da estrutura em condição de extremidade fixada, decorrente da simulação de movimento de *heave up* de 2,5 metros resultou em curvaturas e momentos fletores máximos superiores ao limite de resistência da estrutura, comprometendo a integridade da mesma. Os Gráficos das Figuras 6-10, 6-11 e 6-12, extraídos do *software* Orcaflex, ilustram o caso:

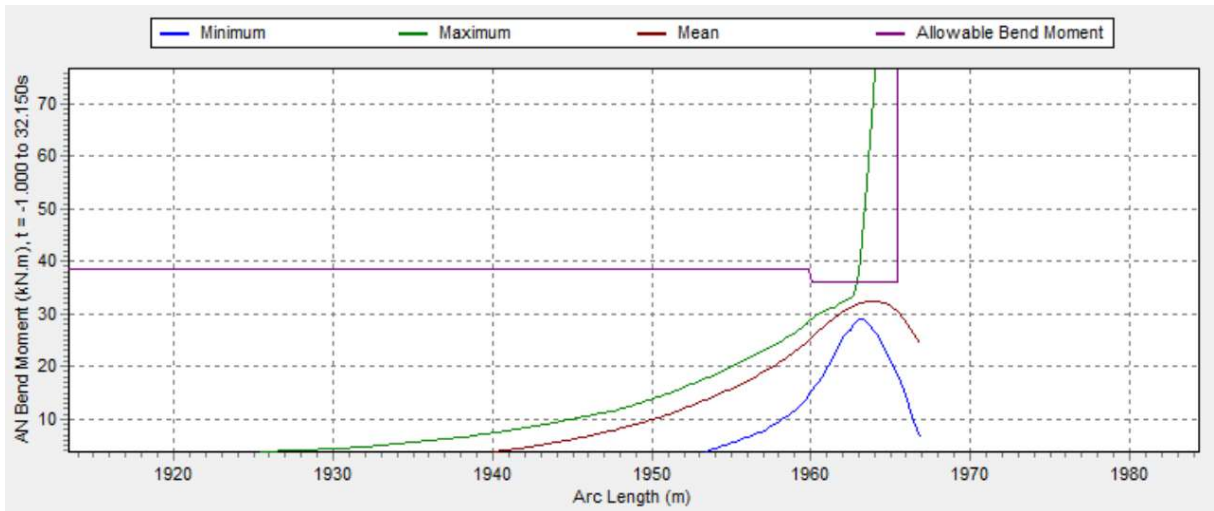


Figura 6-10 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2013 metros de linha submersa (1963 m + 50 m).

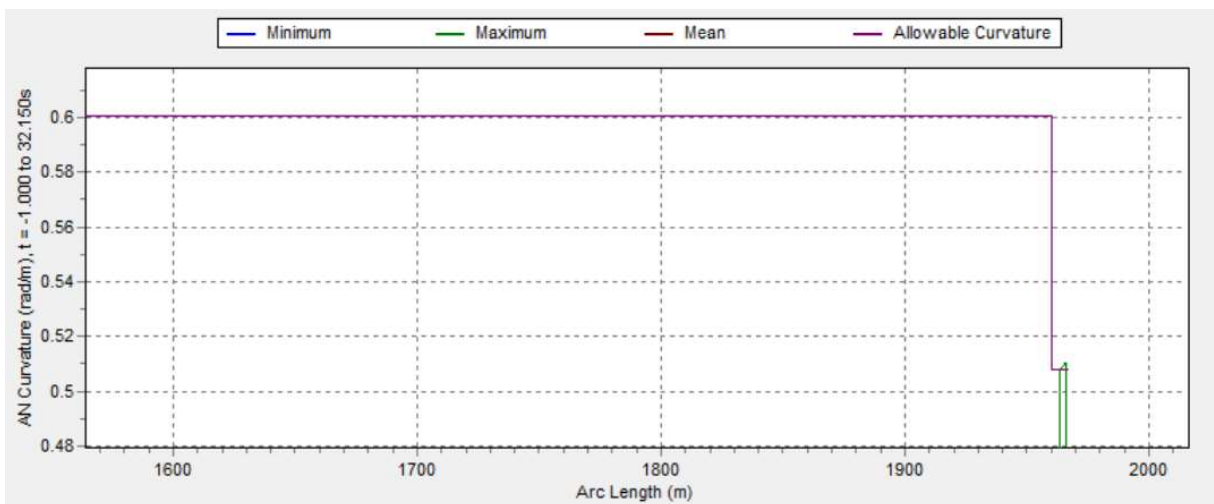


Figura 6-11 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico em 2013 (1963 + 50) m.

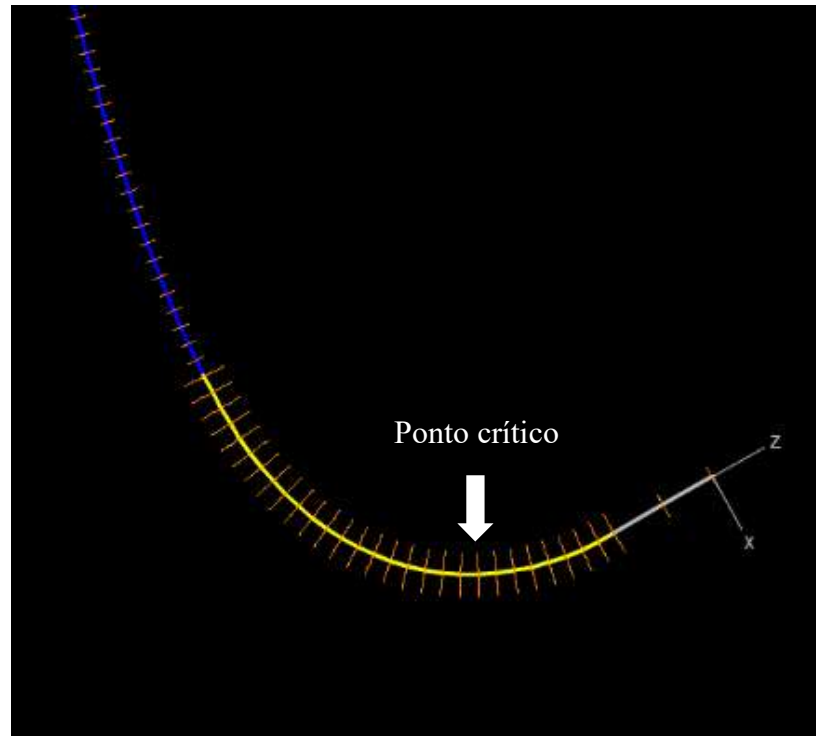


Figura 6-12 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2013 metros de linha submersa.

Para o sucesso da operação, a integridade da estrutura deve ser garantida, portanto a configuração atual não é adequada. Propõe-se, portanto, uma nova configuração com a utilização de flutuadores para alívio pontual de carga e conseqüente aumento do raio de curvatura da estrutura.

6.3. Análise da estrutura com implementação de flutuadores

Propondo uma nova configuração, foi fixado um flutuador com empuxo de 751 kgf na vértebra da estrutura, de forma a aumentar o raio de curvatura da estrutura e aliviar os esforços. Assim sendo, a análise da estrutura já acoplada – caso crítico – se deu na configuração:

Tabela 9 - Configuração inicial da estrutura

Profundidade	2011 m
Rotação do MCV	0,00°
Comprimento de Linha Submersa	2023 m
Condição de apoio da extremidade	Fixada
Flutuadores	1 x 751 kgf

Tabela 10 - Discretização da estrutura

Estrutura	Comprimento da seção (m)	Número de segmentos por seção	Comprimento dos seguimentos (m)
Linha	50	1	50
Linha	25	12	2
Linha	1881,50	235	8
Linha	20	10	2
Linha	20	40	0,50
Linha	20	100	0,20
Vertebra	5,55	28	0,20
Conector	1,25	2	0,62

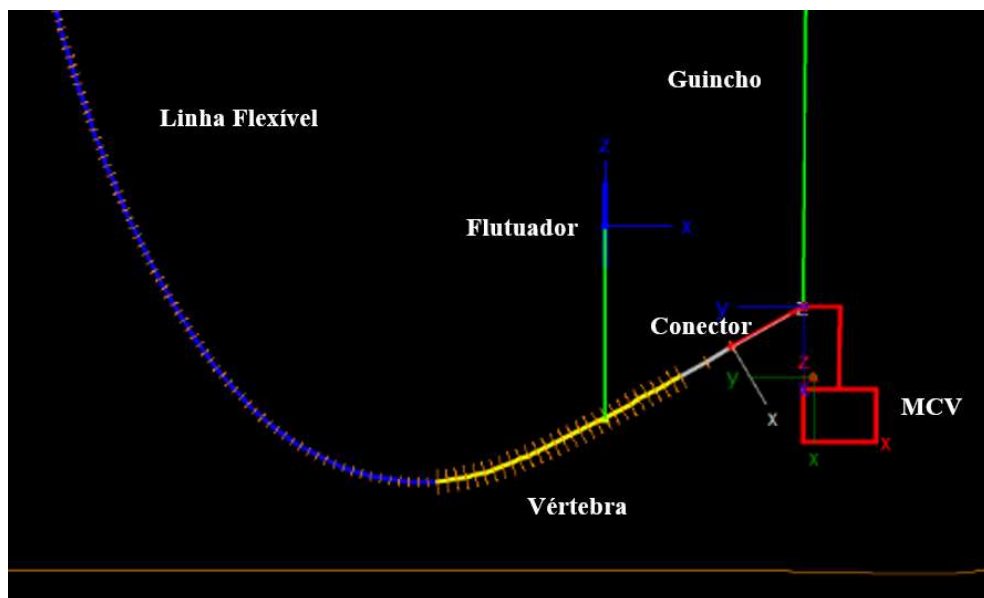


Figura 6-13 Condição inicial para CVD 1ª: Estrutura verticalizada, com uso de flutuadores.

6.3.1. Análise Estática da Estrutura Acoplada com Uso de Flutuadores

A análise estática da estrutura apontou momentos fletores que chegam a valores de 27,5 kN.m, com curvatura máxima de 0,20 rad/m, ocorrendo na linha a 8 metros da extremidade inferior.

A seguir estão os gráficos da curvatura e dos esforços ao longo da estrutura, retirados do software Orcaflex:

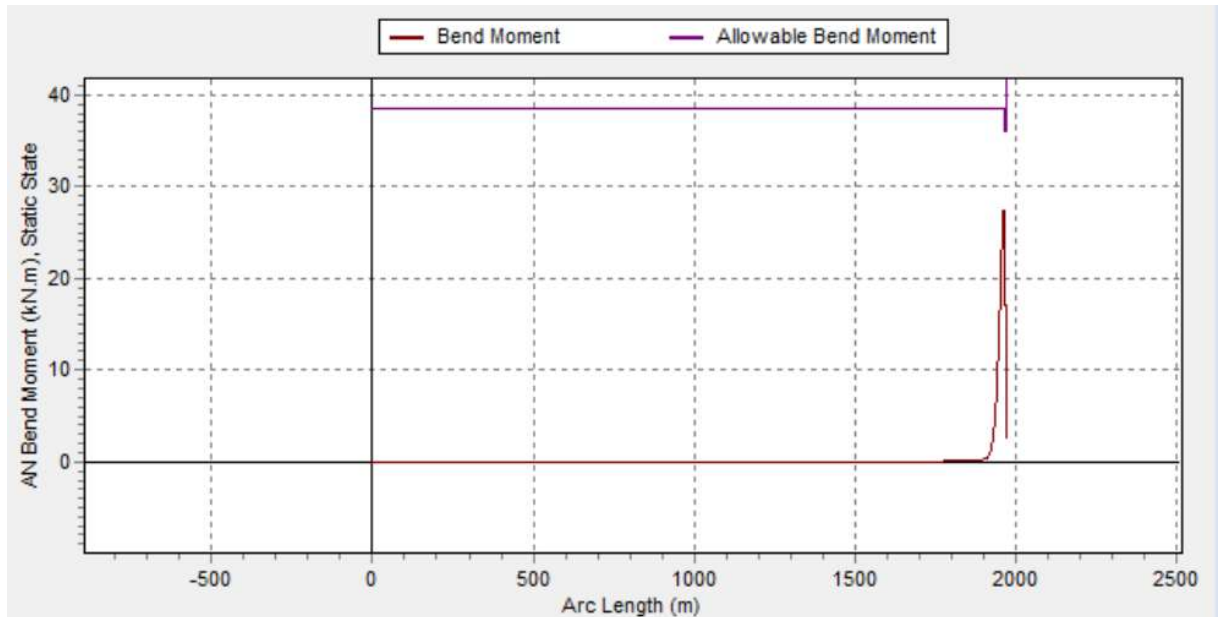


Figura 6-14 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2015 metros de linha submersa (1965 m + 50 m).

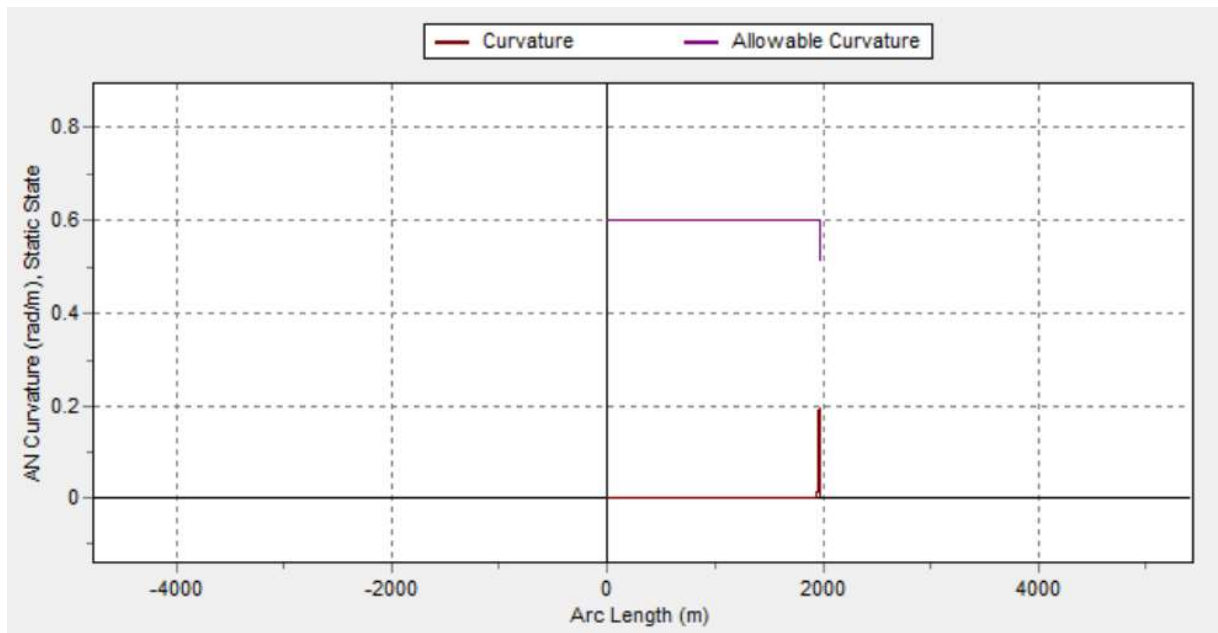


Figura 6-15 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise estática, com pico a 2015 metros de linha submersa (1965 m + 50 m).

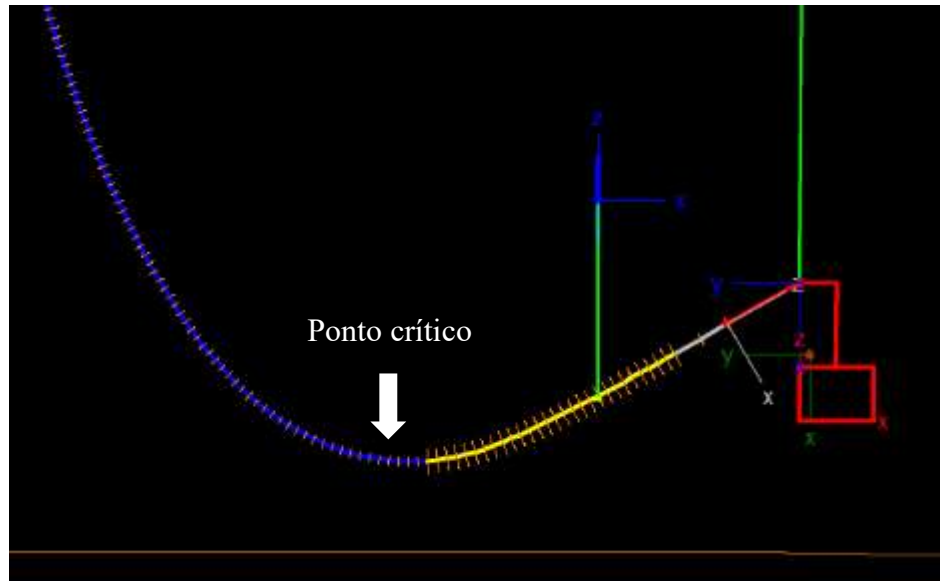


Figura 6-16 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2015 metros de linha submersa.

6.3.2. Análise Dinâmica da Estrutura Acoplada com Uso de Flutuadores

A análise de vibração livre decorrente da simulação de movimento de *heave up* de 2,5 metros para a configuração com o uso de flutuadores resultou em momentos fletores atuantes que variaram entre 26,9 kN.m e 29,1 kN.m, compatíveis com a resistência da estrutura, ocorrendo na linha a 7 metros da extremidade inferior (Figuras 6-17, 6-18 e 6-20).

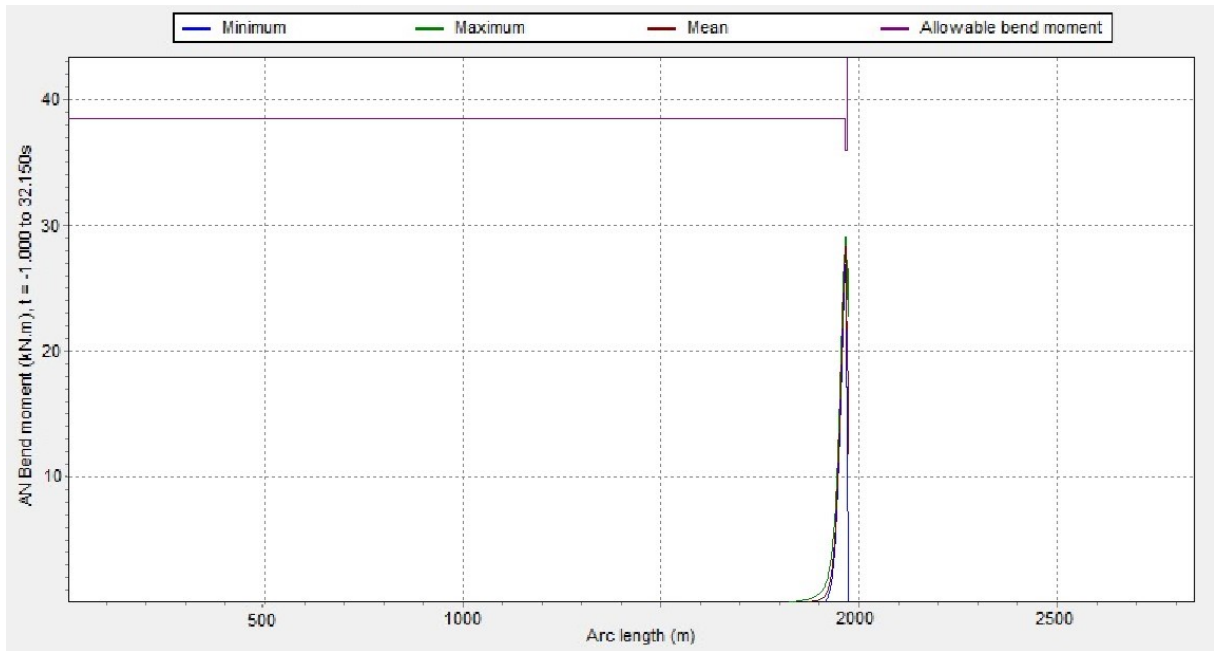


Figura 6-17 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2016 metros de linha submersa (1966 m + 50 m).

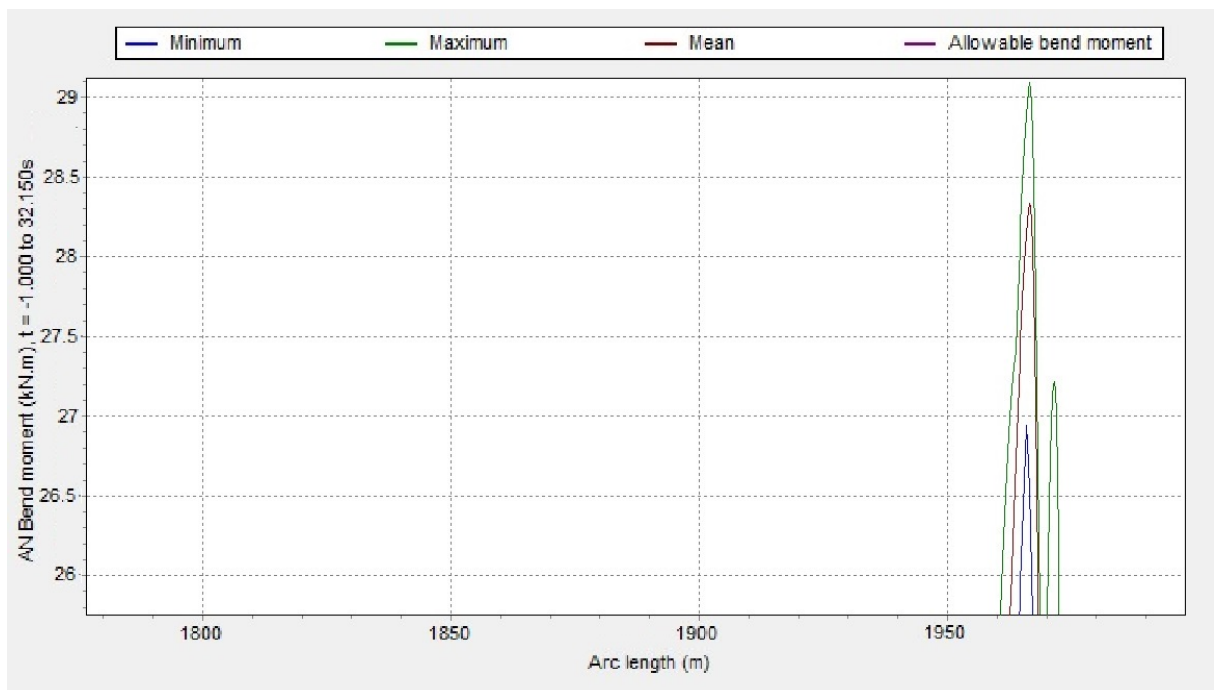


Figura 6-18 Gráfico de momento fletor ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2016 metros de linha submersa (1966 m + 50 m).

De forma análoga, análise de curvatura também se encontrou dentro do raio limite da estrutura (Figura 6-19).

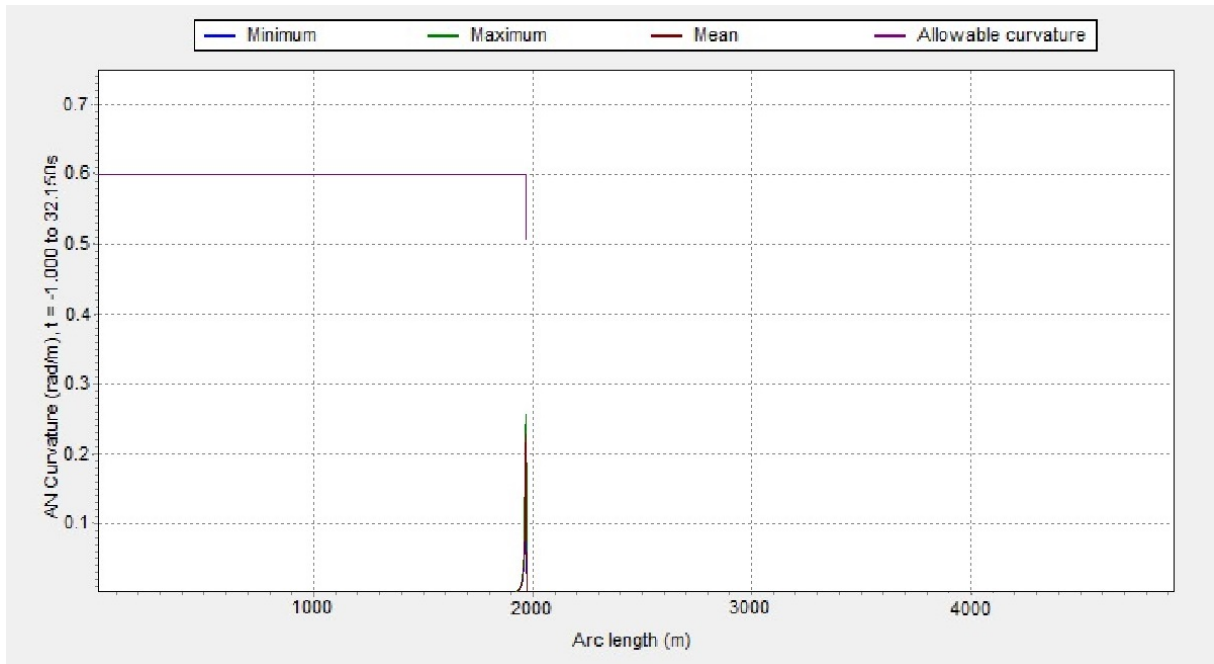


Figura 6-19 Gráfico de curvatura ao longo da estrutura decorrente da análise dinâmica, com pico a 2016 metros de linha submersa (1966 m + 50 m).

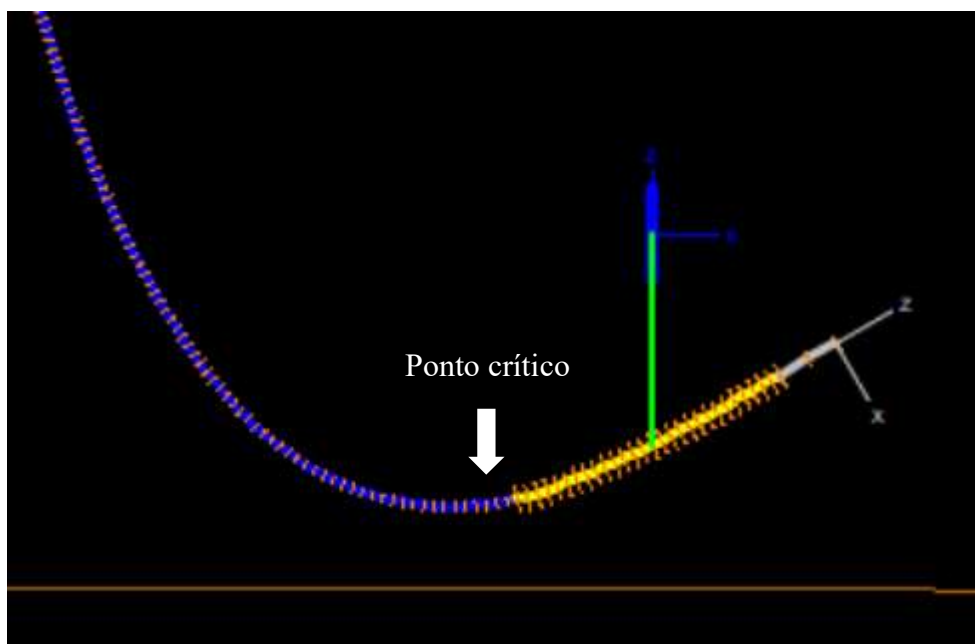


Figura 6-20 Ponto onde ocorrem momento fletor máximo e curvatura máxima, a 2016 metros de linha submersa.

6.3.1. Resumo dos valores obtidos

A Tabela 11 abaixo apresenta o resumo dos resultados observados nas análises.

Tabela 11 – Resumo dos resultados

	Análise Estática			Análise Dinâmica			Limites Admissíveis	
	Momento Fletor (kNm)	Máxima curvatura (rad/m)	Ponto crítico	Momento Fletor (kNm)	Máxima curvatura (rad/m)	Ponto crítico	Momento Fletor (kNm)	Máxima curvatura (rad/m)
Configuração MCV livre	31,3	0,340	Vértebra	32,5	0,380	Vértebra	36,0	0,508
Configuração MCV acoplado	-	-	-	>> 38,5	0,510	Vértebra	38,5	0,508
Configuração MCV acoplado com flutuador	27,5	0,200	Linha	29,1	0,260	Linha	38,5	0,600

7. CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo estudar o comportamento estrutural de um duto flexível usado para *gaslift* durante a operação de Conexão Vertical de 1º Extremidade através do software, baseado no método dos elementos finitos, Orcaflex.

Primeiramente, foi feita a análise do mercado *upstream* no contexto pandêmico e foram apresentados alguns conceitos base para a contextualização do tema, onde, introduzimos os principais tipos de linhas flexíveis, seus acessórios, o método de instalação em questão e seus equipamentos.

Em seguida foi apresentada uma metodologia de análise da viabilidade da operação, que constitui a determinação da configuração inicial do sistema de modo a adequar a verticalização do equipamento e a partir desta configuração, realizar a análise estática e a análise dinâmica do sistema, avaliando em seguida a curvatura e momentos fletores atuantes ao longo na linha.

O estudo de caso abordou a análise estática e dinâmica da instalação no momento anterior ao acoplamento do MCV, com a extremidade livre, e no momento posterior ao acoplamento do MCV, sendo a extremidade fixada. Os resultados indicaram esforços superiores ao suportados pela estrutura em situação crítica de carregamento, portanto foi implementado um flutuador que possibilitou o aumento da curvatura e redução dos esforços – viabilizando a operação.

7.1. Sugestões para trabalhos futuros

Segue como sugestão para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados ao tema:

- Extensão do estudo abrangendo a análise estrutural da instalação sob perspectiva dos esforços no tensionador e no flange do MCV.
- Análise de instalação de linhas flexíveis através de CVD 2ª.
- Análise de instalação de sistema com configuração “Lazy Wave”.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Jonathan. **ANÁLISE DE CLASHING EM RISERS FLEXÍVEIS**. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, [S. l.], 2016.

ARAUJO, Gustavo. **ANÁLISE GLOBAL DINÂMICA DE UM RISER FLEXÍVEL**. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2018.

BARDOT GROUP. **Bardot Group**. Disponível em: <https://www.bardotgroup.com/>. Acesso em: 30 maio 2020.

BICUDO, Ricardo. **ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE LINHAS FLEXÍVEIS**. [S. l.: s. n.], 2009.

COVID-19 demand update: Oil seen down 10.9%, jet fuel down 33.6%, road fuel down 11.1% in 2020. **Rystad Energy**, [S. l.], 15 maio 2020.

FACHINI, Eder. Curso de Extensão: Dutos Flexíveis e Umbilicais. **O Uso Offshore de Dutos Flexíveis no Brasil**, [s. l.], 2014.

GONÇALVES, A. A., **Análises Global e Local de Umbilicais com Tubos de Aço**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

Global investment slowdown set to hike oil prices and cause undersupply of 5 million bpd in 2025. **Rystad Energy**, [S. l.], 4 maio 2020.

MARTHA, L. F. **Análise de estruturas: conceitos e métodos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MACHADO, Ian. **ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE RISERFLEXÍVEL COM CONFIGURAÇÃO LAZY WAVE**. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2016.

OIL Price Charts. [S. l.]. Disponível em: <https://oilprice.com/oil-price-charts/46>. Acesso em: 30 maio 2020.

ORLANDO, Filipe. **ANÁLISE DE INSTALAÇÃO DE UM RISER LAZY WAVE PARA ÁGUAS ULTRAPROFUNDAS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2019.

PAULÍNIA PETRÓLEO & GÁS, 2013. Seminário [...]. [S. l.: s. n.], 2013. Tema: **Oportunidades e desafios na área de Subsea**.

PLATEC INOVAPETRO. Palestra [...]. Tema: **INSTALAÇÕES SUBMARINAS**. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.fiesp.com.br%2Farquivo-download%2F%3Fid%3D147679&psig=AOvVaw3nLzgZnC74jtN94D4dvX2d&ust=1607691200612000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCIDljMu6w-0CFQAAAAAdAAAAABAJ>. Acesso em: 10 dez. 2020.

Rystad Energy ranks the cheapest sources of supply in the oil industry. **Rystad Energy**, [S. l.], 9 maio 2019.

RODRIGUEZ, Daniel. Petrobras expects Brazil's deepwater pre-salt play to remain competitive to shale. **S&P Global**, [S. l.], 6 maio 2020. Disponível em: <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/oil/050619-petrobras-expects-brazils-deepwater-pre-salt-play-to-remain-competitive-to-shale>. Acesso em: 30 maio 2020.

SILVA, Paula. **ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ARRANJOS SUBMARINOS DE PRODUÇÃO COM O USO DE MANIFOLDS E BOMBAS MULTIFÁSICAS: OTIMIZAÇÃO DA VAZÃO E ANÁLISE FINANCEIRA**. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2015.

SIMEROS. **End Fitting para dutos flexíveis unbonded**. Maio de 2017. Disponível em: <http://simeros.com/end-fitting-para-dutos-flexiveis-unbonded/>.

TECPETRO. **Equipamentos Submarinos**. [S. l.], 11 maio 2014. Disponível em: <https://tecpetro.wordpress.com/2014/05/11/equipamentos-submarinos/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

TURAK, Natasha. Whiting Petroleum is just the ‘first domino’ to fall in US shale wipeout, strategist says. **CNBC**, [S. l.], 2 abr. 2020. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2020/04/02/coronavirus-whiting-petroleum-is-just-the-first-domino-to-fall-in-us-shale-wipeout-strategist-says.html>. Acesso em: 30 maio 2020.

XAVIER, Marcelo. **INSTALAÇÃO DE FLEXÍVEIS EM ÁGUAS ULTRAPROFUNDAS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2006.

XAVIER, Flávio. **AVALIAÇÃO DA VIDA EM FADIGA DE UM NOVO MODELO DE TERMINAL CONECTOR PARA DUTOS FLEXÍVEIS**. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2005.