



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
Curso de Engenharia Civil
Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas

**COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE ANCORAGEM “TAUT-LEG” E
CONVENCIONAL PARA UNIDADES FLUTUANTES ANCORADAS NA
EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO OFFSHORE**

BRUNO MARTINS JACOVAZZO

Projeto de Final de Curso apresentado ao corpo docente do Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado por:

Roberto Fernandes de Oliveira (orientador)
Prof. Adjunto, D.Sc. – COPPE/UFRJ

Breno Pinheiro Jacob
Prof. Adjunto, D.Sc. – COPPE/UFRJ

Francisco José Costa Reis
Prof. Assistente, M. Sc. – DME/EP/UFRJ

Aos meus pais, que muito se sacrificaram para que eu tivesse um ensino de qualidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus, por me ter dado saúde e oportunidade para estudar.

Agradeço aos meus pais, José e Gilcéa, pelo apoio moral e financeiro, sem os quais eu teria imensas dificuldades de conquistar meus objetivos. Agradeço à minha irmã, Livia, por sempre torcer por mim.

Agradeço à minha namorada, Roselaine, por estar ao meu lado durante quase todo o período de faculdade e sempre me aconselhar e apoiar.

Agradeço à toda a minha família, por compreender os momentos em que não pude estar presente.

Agradeço ao meu orientador, Roberto, pela simpatia e ajuda.

Agradeço ao meu co-orientador, Breno, pelos ensinamentos, oportunidades e tempo gasto com meu projeto final.

Agradeço ao engenheiro Fabrício, pelas dicas e ensinamentos.

Agradeço aos professores que foram pacientes e se preocupam com o aprendizado dos alunos, apesar de nossas e de suas próprias dificuldades.

Agradeço, enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu chegasse ao fim dessa estrada e começasse outra etapa em minha vida.

RESUMO

O estudo desenvolvido a seguir tem por objetivo comparar dois sistemas de ancoragem de unidades flutuantes semi-submersíveis de extração de petróleo em águas profundas e ultraprofundas.

O primeiro sistema é formado por linhas em catenária convencional, que possui um trecho apoiado em solo marinho e, portanto, não apresenta esforços verticais nas âncoras.

Este sistema utiliza o peso próprio das linhas de ancoragem como esforço resistente aos movimentos da unidade flutuante devido às ações de correnteza, onda e vento.

O segundo sistema é formado por linhas em catenária “taut-leg”, um modelo mais novo desenvolvido com a finalidade de reduzir o raio de interferência das unidades flutuantes com suas demais vizinhas.

Este sistema não apresenta um trecho apoiado em solo marinho e utiliza âncoras resistentes à tração para resistir aos movimentos da unidade flutuante devido às ações de correnteza, onda e vento.

ÍNDICE

1	Introdução	2
1.1	<i>Objetivos</i>	2
1.2	<i>Metodologia</i>	4
2	Modelagem do Sistema	5
2.1	<i>Definição dos Eixos Coordenados</i>	5
2.2	<i>Unidade Flutuante</i>	5
2.2.1	Método de Análise	5
2.2.2	Dados da Unidade Flutuante	6
2.3	<i>Linhas do Sistema</i>	11
2.3.1	Profundidade de 1200 metros	11
2.3.1.1	Dados de Material	11
2.3.1.2	Parâmetros de Definição das linhas	12
2.3.1.3	Refinamento da malha de elementos finitos	17
2.3.2	Profundidade de 3000 metros	18
2.3.2.1	Dados de Material	18
2.3.2.2	Parâmetros de Definição das linhas	19
2.3.2.3	Refinamento da malha de elementos finitos	23
2.4	<i>Parâmetros de Análise</i>	24
3	CrITÉrios de Projeto	25
3.1	<i>Metodologia</i>	25
3.2	<i>CrITÉrios Adotados</i>	26
3.2.1	Passeio Máximo da unidade flutuante	26
3.2.2	Tração Máxima nas linhas de ancoragem	26
3.2.3	Tração Mínima no cabo de poliéster	26
3.3	<i>Análise Estatística dos resultados</i>	27
4	Dados de Carregamento	28
4.1	<i>Análises em lâmina d'água com profundidade de 1200 metros</i>	28
4.2	<i>Análises em lâmina d'água com profundidade de 3000 metros</i>	29
5	Resultados para a profundidade de 1200 metros	30
5.1	<i>Sistema em catenária "taut-leg"</i>	30
5.1.1	Estatística de Máximos de Movimento	30
5.1.2	Estatística de Trações Máximas	32
5.1.3	Estatística de Trações Mínimas	37
5.1.4	Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis	42
5.2	<i>Sistema em catenária convencional</i>	43
5.2.1	Estatística de Máximos de Movimento	43
5.2.2	Estatística de Trações Máximas	45
5.2.3	Estatística de Trações Mínimas	50
5.2.4	Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis	55
6	Resultados para a profundidade de 3000 metros	56
6.1	<i>Sistema em catenária "taut-leg"</i>	56
6.1.1	Estatística de Máximos de Movimento	56
6.1.2	Estatística de Trações Máximas	58
6.1.3	Estatística de Trações Mínimas	63
6.1.4	Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis	68
6.2	<i>Sistema em catenária convencional</i>	69
6.2.1	Estatística de Máximos de Movimento	69
6.2.2	Estatística de Trações Máximas	71
6.2.3	Estatística de Trações Mínimas	76
6.2.4	Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis	81
7	Resumo dos Resultados	82
8	Conclusões	86
9	Referências	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

A indústria petrolífera no Brasil tem se expandido muito ao longo dos anos, chegando à auto-suficiência em 2006.

A exploração de petróleo em águas profundas é uma das tecnologias que o Brasil tem desenvolvido, chegando a níveis considerados improváveis há alguns anos.

Com o acúmulo de poços petrolíferos ao longo das bacias existentes, principalmente a Bacia de Campos, a interferência entre as linhas de ancoragem e os dutos de plataformas vizinhas tem se tornado fator de grande importância no projeto de novos sistemas de extração e ancoragem das mesmas.

O sistema de ancoragem convencional (figura 1) procura fazer com que as trações nas âncoras das linhas sejam as mínimas possíveis. Para que isso ocorra, a linha de ancoragem apresenta um trecho apoiado no solo, subindo em seguida em catenária livre para a plataforma. Isso causa um raio de interferência desta plataforma semi-submersível muito grande, gerando problemas para instalar uma plataforma vizinha.

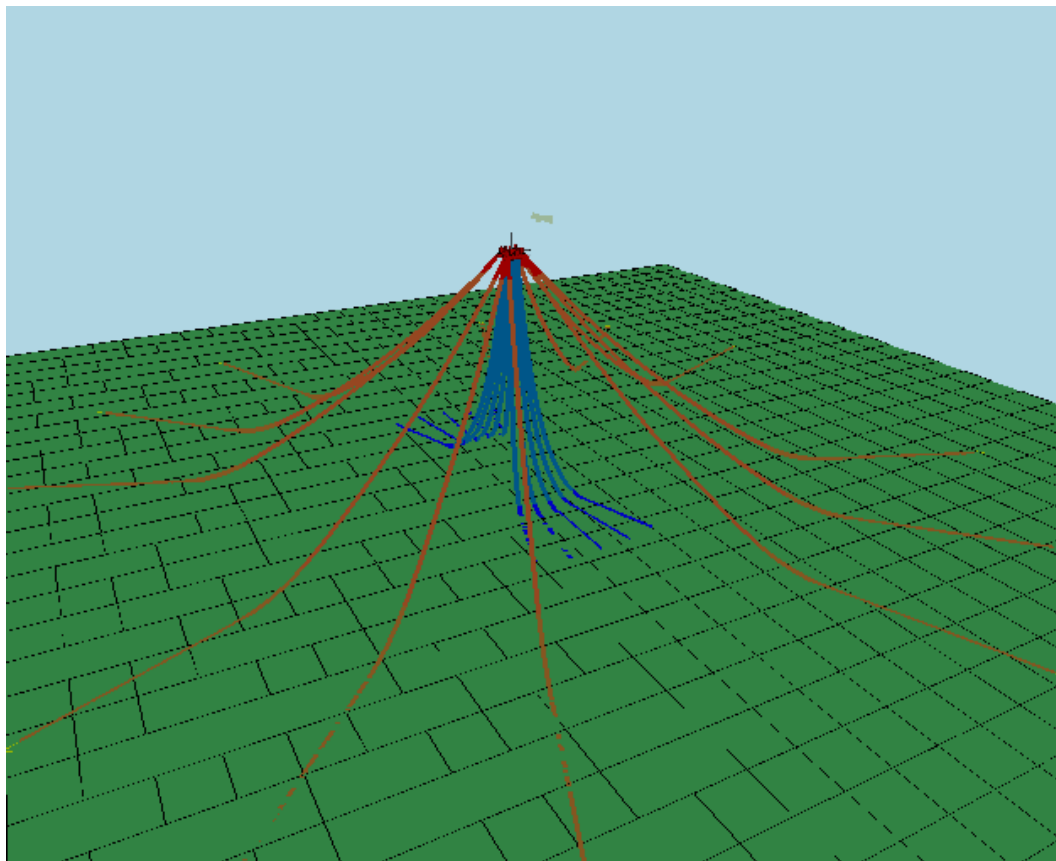


Figura 1 – Plataforma com sistema de ancoragem convencional

Uma das soluções propostas foi projetar fundações para as âncoras capazes de resistir ao esforço de tração e adotar um sistema de ancoragem “taut-leg”, ou seja, em que a linha não apresenta um trecho apoiado em solo marinho.

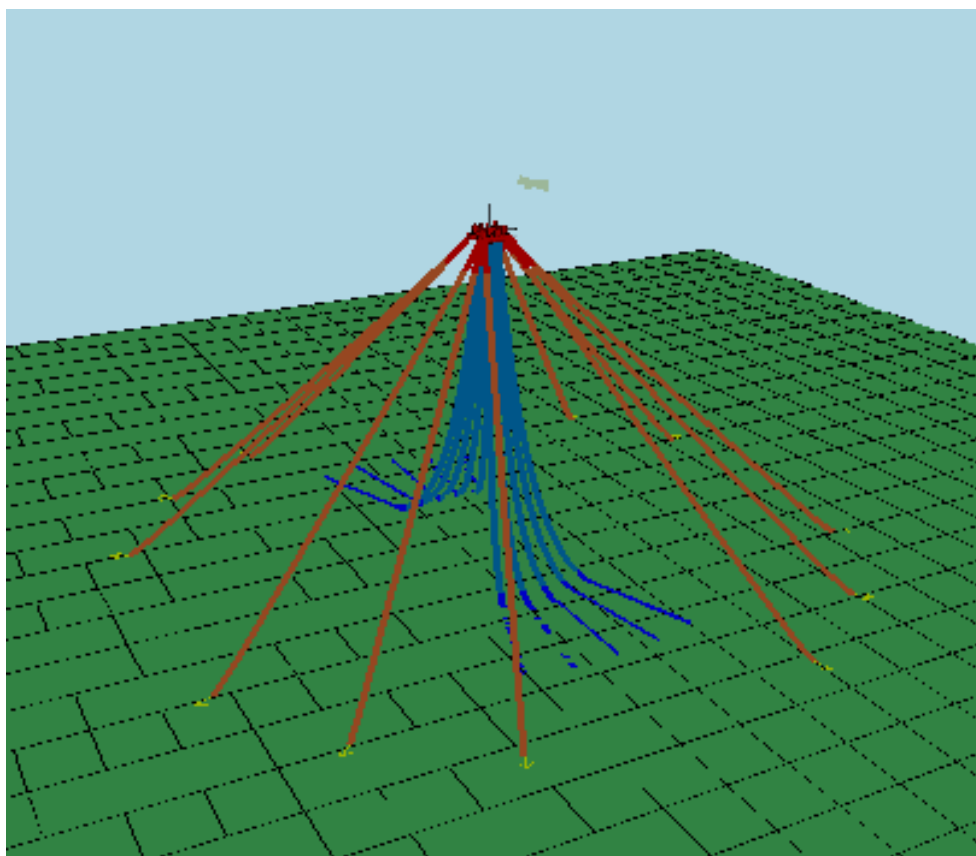


Figura 2 – Plataforma com sistema de ancoragem “taut-leg”

Isso causaria uma economia de espaço, possibilitando que plataformas vizinhas próximas pudessem ser instaladas com menos dificuldade.

O projeto desenvolvido a seguir tem por objetivo efetuar simulações numéricas para comparar os dois sistemas de ancoragens de maneira genérica para duas lâminas d'água:

- 1200m – representando um ambiente de exploração em águas profundas e
- 3000m – representando um ambiente de exploração em águas ultraprofundas.

1.2 Metodologia

Para comparar os sistemas de ancoragem serão realizadas análises dinâmicas, com o auxílio do sistema SITUA/PROSIM [1], desenvolvido pelo LAMCSO/PEC/COPPE em parceria com a Petrobras, para realizar análises acopladas de unidades flutuantes. Neste programa, o comportamento da plataforma é representado por um modelo hidrodinâmico que descreve as cargas de onda, vento e correnteza; este modelo hidrodinâmico é acoplado a modelos de Elementos Finitos para representar o comportamento estrutural e hidrodinâmico das linhas de ancoragem e risers.

Primeiramente, serão gerados os modelos para as duas lâminas d'água a serem analisadas, tanto em ancoragem convencional, como em ancoragem "taut-leg".

Os modelos consistem de uma unidade flutuante, que será descrita na seção seguinte, das linhas de ancoragem e dos risers.

Os carregamentos de onda, vento e correnteza serão aplicados aos modelos de acordo com a prática de projeto e as normas consideradas pelas companhias de petróleo, como a Petrobras, referentes ao projeto de sistemas de ancoragem.

As análises serão realizadas e com base nos resultados em termos de trações nas linhas de ancoragem e passeio da unidade flutuante, será feito um estudo comparativo dos resultados, avaliando a utilização dos dois sistemas de ancoragem para as lâminas d'água apresentadas.

2 MODELAGEM DO SISTEMA

2.1 Definição dos Eixos Coordenados

No programa utilizado para a análise dinâmica da unidade flutuante acoplada com as linhas de ancoragem e os risers existem três eixos de sistemas coordenados:

- Eixo global (X, Y, Z) – localizado na altura da linha d'água na origem do sistema, sendo que o plano XY encontra-se na horizontal, o eixo Y aponta para o Norte e o eixo Z para cima, respeitando a regra da mão direita;
- Eixo local da unidade flutuante (x, y, z) – localizado na quilha a meia nau da unidade flutuante, onde o eixo x aponta para a proa e o eixo z para cima, respeitando a regra da mão direita.
- Eixo local dos elementos (x', y' e z') – cada elemento da malha de elementos finitos e do modelo hidrodinâmico possui seu próprio sistema de eixos coordenados. A origem desse sistema está localizada no nó 1 do membro. A direção local x' coincide com o eixo do membro, e é orientada do nó 1 para o nó 2; as direções locais y' e z' ortogonais a x', estão contidas na seção transversal do membro. Para um membro com orientação geral no espaço, a direção local y' é horizontal, e a direção local z' é perpendicular às direções x e y. Para um membro horizontal, a direção local z' é vertical, paralela ao eixo local z. Para um membro vertical, a direção local horizontal y' é paralela ao eixo local y. Por sua vez, a direção local z', também horizontal, é paralela ao eixo local x (mas em sentido contrário).

2.2 Unidade Flutuante

2.2.1 Método de Análise

A unidade flutuante considerada é uma plataforma semi-submersível, que pode ser modelada através de cilindros, analisados pela formulação de Morison [2], descrita no manual do sistema SITUA/PROSIM [1].

A equação de Morison foi originalmente desenvolvida por Morison, O'Brien, Johnson e Shaaf para representar forças de onda horizontais agindo em um cilindro vertical fixo, que se estende desde o fundo do mar até a superfície livre. Mais tarde, foi estendida para tratar membros inclinados e para a consideração de cilindros com movimento oscilatório sob a ação de ondas e correnteza. Diversas outras variantes têm sido propostas.

Na proposta original de Morison, a força aplicada por ondas sobre um tubo cilíndrico vertical é composta por duas parcelas: *inércia* e *arrasto*.

Para que esta fórmula pudesse ser aplicada em cilindros de comprimento finito, que não se estendessem do fundo do mar até a superfície, a mesma é calibrada com coeficientes hidrodinâmicos de arrasto e inércia.

Para o projeto desenvolvido, serão utilizados os coeficientes de arrasto e inércia apresentados na norma DNV [3].

2.2.2 Dados da Unidade Flutuante

A unidade flutuante a ser utilizada no projeto é uma plataforma semi-submersível padronizada no 17º Comitê de Engenharia Oceânica ITTC, para aferição de diversos programas numéricos, como também a verificação das diferenças dos mesmos com os resultados obtidos nos ensaios conduzidos no tanque de provas físico de modelo reduzido no Japão.

A escolha desta unidade flutuante deve-se ao fato de este ser um modelo desenvolvido exclusivamente para a pesquisa e bastante utilizado.

A unidade flutuante encontra-se aproada para Leste.

A tabela 1 mostra as principais características da unidade flutuante adotada.

Tabela 1 – Dados da Unidade Flutuante

Propriedade	Valores (Escala Real)
Comprimento	115.00 m
Calado	20.00 m
Boca	60.00 m
Altura	43.00 m
X CG	0.00
Y CG	0.00
Z CG	17.50 m
Raio de Giração (Roll)	34.30
Raio de Giração (Pitch)	35.58
Raio de Giração (Yaw)	40.58
Empuxo	34157.00 t

*sem considerar a massa das linhas de ancoragem

Como as linhas de ancoragem acrescentam massa ao sistema, em diversas posições da unidade flutuante, o valor do centro de gravidade e o raio de giração do sistema em conjunto ficam modificados.

Estas considerações são calculadas automaticamente pelo programa utilizado para as análises.

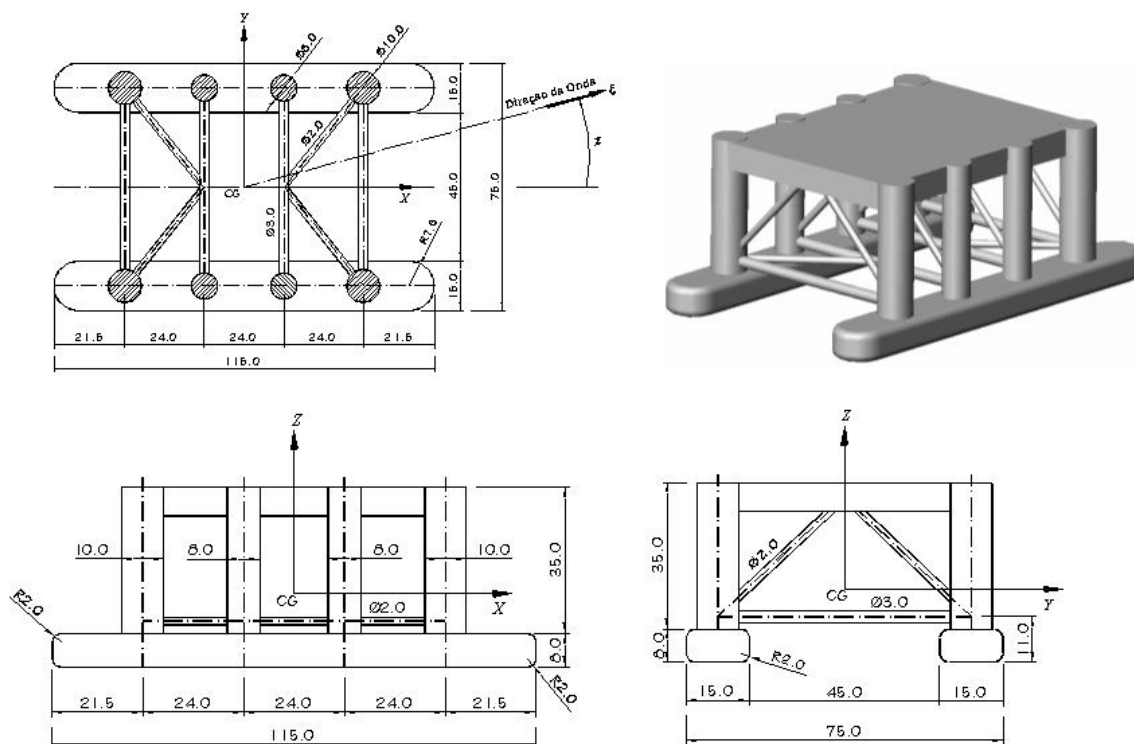


Figura 3 – Geometria da Unidade Flutuante

De acordo com a formulação de Morison citada anteriormente e utilizando o programa SITUA/PROSIM [1], foi gerado um modelo para o projeto. A tabela 2 mostra as características geométricas dos cilindros utilizados para as análises, relacionados com o eixo local e a tabela 3 mostra os coeficientes hidrodinâmicos adotados de acordo com a norma DNV [3].

Na tabela 3, os coeficientes hidrodinâmicos apresentados são descritos abaixo:

- CD_y e CD_z – Coeficientes de arrasto quadrático, para velocidade relativa paralela às direções locais y e z do membro, respectivamente;
- CA_y e CA_z – Coeficiente de massa adicionada para as direções locais y e z do membro. O coeficiente de massa adicionada é o coeficiente de inércia CM menos 1;
- $CD_{Axial 1}$ e $CD_{Axial 2}$ – Coeficientes de arrasto quadrático na direção axial do membro, atuando respectivamente na extremidade 1 e na extremidade 2. Em geral, tais coeficientes serão não-nulos apenas para extremidades expostas de membros submersos, ou seja, não bloqueadas por outro membro;
- $CA_{Axial 1}$ e $CA_{Axial 2}$ – Coeficientes de massa adicionada na direção axial do membro, atuando respectivamente na extremidade 1 e na extremidade 2;

Tabela 2 – Características Geométricas dos Cilindros

Cilindro	Coordenadas Nodais dos Cilindros (m)						Diâmetro y'	Diâmetro z'	Área (m ²)
	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2			
1	-50	-30	4	50	-30	4	18.552	8	117
2	-50	30	4	50	30	4	18.552	8	117
3	-50	-30	4	-56.366	-30	4	16.72	8	105
4	50	-30	4	56.366	-30	4	16.72	8	105
5	-50	30	4	-56.366	30	4	16.72	8	105
6	50	30	4	56.366	30	4	16.72	8	105
7	-36	-30	8	-36	-30	43	10	10	79
8	36	-30	8	36	-30	43	10	10	79
9	-36	30	8	-36	30	43	10	10	79
10	36	30	8	36	30	43	10	10	79
11	-12	-30	8	-12	-30	43	8	8	50
12	12	-30	8	12	-30	43	8	8	50
13	-12	30	8	-12	30	43	8	8	50
14	12	30	8	12	30	43	8	8	50
15	-36	-25	11	-36	25	11	3	3	7
16	-12	-26	11	-12	26	11	3	3	7
17	12	-26	11	12	26	11	3	3	7
18	36	-25	11	36	25	11	3	3	7
19	-32.88	-26.1	11	-13.5	-1.87	11	2	2	3
20	-32.88	26.1	11	-13.5	1.87	11	2	2	3
21	32.88	-26.1	11	13.5	-1.87	11	2	2	3
22	32.88	26.1	11	13.5	1.87	11	2	2	3
23	-36	-25	15.83	-36	0	40	2	2	3
24	-36	25	15.83	-36	0	40	2	2	3
25	-12	-26	15.83	-12	0	40	2	2	3
26	-12	26	15.83	-12	0	40	2	2	3
27	36	-25	15.83	36	0	40	2	2	3
28	36	25	15.83	36	0	40	2	2	3
29	12	-26	15.83	12	0	40	2	2	3
30	12	26	15.83	12	0	40	2	2	3

Os diâmetros y' e z' descritos na tabela acima se referem aos comprimentos dos eixos médios dos elementos em questão em relação aos eixos coordenados y' e z' descritos anteriormente.

Tabela 3 – Coeficientes Hidrodinâmicos dos cilindros do modelo

Cilindro	CDy	CDz	CAy	CAz	CD Axial 1	CD Axial 2	CA Axial 1	CA Axial 2
1	0.54	1.38	0.25	1.7	0	0	0	0
2	0.54	1.38	0.25	1.7	0	0	0	0
3	0.63	0.63	0.48	2.03	0	0.5	0	0.5
4	0.63	0.63	0.48	2.03	0	0.5	0	0.5
5	0.63	0.63	0.48	2.03	0	0.5	0	0.5
6	0.63	0.63	0.48	2.03	0	0.5	0	0.5
7	0.63	0.63	0.96	0.96	0	0	0	0
8	0.63	0.63	0.96	0.96	0	0	0	0
9	0.63	0.63	0.96	0.96	0	0	0	0
10	0.63	0.63	0.96	0.96	0	0	0	0
11	0.63	0.63	0.98	0.98	0	0	0	0
12	0.63	0.63	0.98	0.98	0	0	0	0
13	0.63	0.63	0.98	0.98	0	0	0	0
14	0.63	0.63	0.98	0.98	0	0	0	0
15	0.63	0.63	1	1	0	0	0	0
16	0.63	0.63	1	1	0	0	0	0
17	0.63	0.63	1	1	0	0	0	0
18	0.63	0.63	1	1	0	0	0	0
19	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
20	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
21	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
22	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
23	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
24	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
25	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
26	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
27	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
28	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
29	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0
30	0.58	0.58	1	1	0	0	0	0

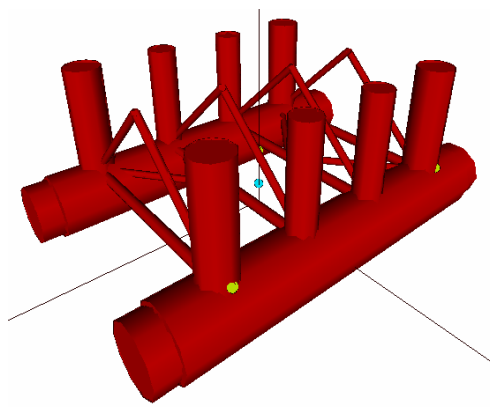


Figura 4 – Unidade Flutuante modelada com o programa SITUA/PROSIM

Para absorver o esforço de vento, foi idealizada uma área de superestrutura de 2000m² de projeção lateral com altura de centróide de 10m com relação à linha d'água.

Os pontos de conexão das linhas de ancoragem (“fairleads”) estão descritos na tabela abaixo, em relação ao eixo local da unidade flutuante:

Tabela 4 – Pontos de Conexão das linhas de ancoragem

Conexão	x (m)	y (m)	z (m)
1	43.39	33.06	16.5
2	41.65	35.65	16.5
3	39.06	37.39	16.5
4	-39.06	37.39	16.5
5	-41.65	35.65	16.5
6	-43.39	33.06	16.5
7	-43.39	-33.06	16.5
8	-41.65	-35.65	16.5
9	-39.06	-37.39	16.5
10	39.06	-37.39	16.5
11	41.65	-35.65	16.5
12	43.39	-33.06	16.5

Os pontos de conexão dos risers estão descritos na tabela abaixo, em relação ao eixo local da unidade flutuante:

Tabela 5 – Pontos de Conexão dos risers

Conexão	x (m)	y (m)	z (m)
13	20	15	10
14	10	15	10
15	0	15	10
16	-10	15	10
17	-20	15	10
18	-20	-15	10
19	-10	-15	10
20	0	-15	10
21	10	-15	10
22	20	-15	10

2.3 Linhas do Sistema

O sistema é composto por 22 linhas, sendo 12 linhas de ancoragem e 10 risers.

Todos os risers foram modelados com o mesmo material, já que o propósito do estudo é avaliar as linhas de ancoragem e os risers incluídos na análise têm somente a finalidade de obter os esforços de correnteza atuantes nos mesmos.

2.3.1 Profundidade de 1200 metros

2.3.1.1 Dados de Material

Os materiais que compõem as linhas de ancoragem estão descritos na tabela a seguir:

Tabela 6 – Dados de Material das linhas de ancoragem para 1200 metros

Característica	Material		
	Amarra R3	Poliéster	Cabo de Aço
Diâmetro Externo (m)	0.087	0.146	0.083
Coef. Poisson	0.3	0.3	0.3
EA (kN)	685070	87603	599506
EI (kN*m²)	1	0.7	0.7
E dinâmico (kN/m²)	115240912	11892449	110801966
GJ (kN*m²)	0.7	0.5	0.5
Mbl - Carga Ruptura (kN)	6252	5886	5755
Peso ar (kN/m)	1.485	0.1413	0.3561
P água (kN/m)	1.292	0.0371	0.2835
Diâmetro Hidrodinâmico (m)	0.152	0.146	0.083

O sistema em catenária convencional foi modelado com cabo de aço para que pudesse ser conferido peso ao mesmo e se conseguisse atingir as trações de topo ideais para ancorá-lo, já que a tração de ancoragem deste tipo de sistema é conferida pelo peso das linhas.

Já o sistema em catenária “taut-leg” foi modelado com poliéster, para que o mesmo pudesse se manter suspenso e tensionado, já que o poliéster, além de leve, é bastante deformável.

O material que compõe os risers está descrito na tabela a seguir:

Tabela 7 – Dado de Material dos risers para 1200 metros

Característica	Material
	Riser
Diâmetro Externo (m)	0.1015
Diâmetro Interno (m)	0.0635
Coef. Poisson	0.3
EA (kN)	9009
EI (kN*m ²)	0.7
GJ (kN*m ²)	0.5
Peso ar (kN/m)	0.174
P água (kN/m)	0.0927
Diâmetro Hidrodinâmico (m)	0.1015

2.3.1.2 Parâmetros de Definição das linhas

A tabela abaixo mostra as condições de contorno para a definição da catenária das linhas de ancoragem do sistema “taut-leg” para a profundidade de 1200 metros:

Tabela 8 – Parâmetros de definição das linhas de ancoragem do sistema “taut-leg” para 1200 metros

Característica	Valor
Tração de Topo (kN)	1349
Comp Horiz da T Topo (kN)	840
Comp Vert da T Topo (kN)	1056
Projeção Horizontal (m)	1200
Comprimento Total (m)	1674
Deformação (%)	1.142
Comprimento Deformado (m)	1693
Comprimento Suspenso (m)	1693
Amarra R3 de Topo (m)	150
Poliéster (m)	1374
Amarra R3 de Fundo (m)	150

A tabela abaixo mostra as condições de contorno para a definição da catenária das linhas de ancoragem do sistema convencional para a profundidade de 1200 metros:

Tabela 9 – Parâmetros de definição das linhas de ancoragem do sistema convencional para 1200 metros

Característica	Valor
Tração de Topo (kN)	1456
Comp Horiz da T Topo (kN)	880
Comp Vert da T Topo (kN)	1159
Projeção Horizontal (m)	2400
Comprimento Total (m)	2830
Deformação (%)	0.132
Comprimento Deformado (m)	2834
Comprimento Suspenso (m)	2064
Amarra R3 de Topo (m)	150
Cabo de Aço (m)	1480
Amarra R3 de Fundo (m)	1200

A tabela abaixo mostra as condições de contorno para a definição da catenária dos risers dos dois sistemas para a profundidade de 1200 metros:

Tabela 10 – Parâmetros de definição dos risers para 1200 metros

Característica	Valor
Tração de Topo (kN)	124
Comp Horiz da T Topo (kN)	15
Comp Vert da T Topo (kN)	123
Projeção Horizontal (m)	828
Comprimento Total (m)	1700
Deformação (%)	0.561
Comprimento Deformado (m)	1710
Comprimento Suspenso (m)	1350
Ângulo de Topo c/ Vertical	7

A tabela abaixo mostra a disposição das linhas acopladas na unidade flutuante para a profundidade de 1200 metros:

Tabela 11 – Disposição das linhas na unidade flutuante para 1200 metros

Linha	Azimute (°)	Conexão
Ancoragem 01	67.5	1
Ancoragem 02	45.0	2
Ancoragem 03	22.5	3
Ancoragem 04	337.5	4
Ancoragem 05	315.0	5
Ancoragem 06	292.5	6
Ancoragem 07	247.5	7
Ancoragem 08	225.0	8
Ancoragem 09	202.5	9
Ancoragem 10	157.5	10
Ancoragem 11	135.0	11
Ancoragem 12	112.5	12
Riser 01	20.0	13
Riser 02	10.0	14
Riser 03	0.0	15
Riser 04	350.0	16
Riser 05	340.0	17
Riser 06	200.0	18
Riser 07	190.0	19
Riser 08	180.0	20
Riser 09	170.0	21
Riser 10	160.0	22

As figuras abaixo demonstram as linhas modeladas:

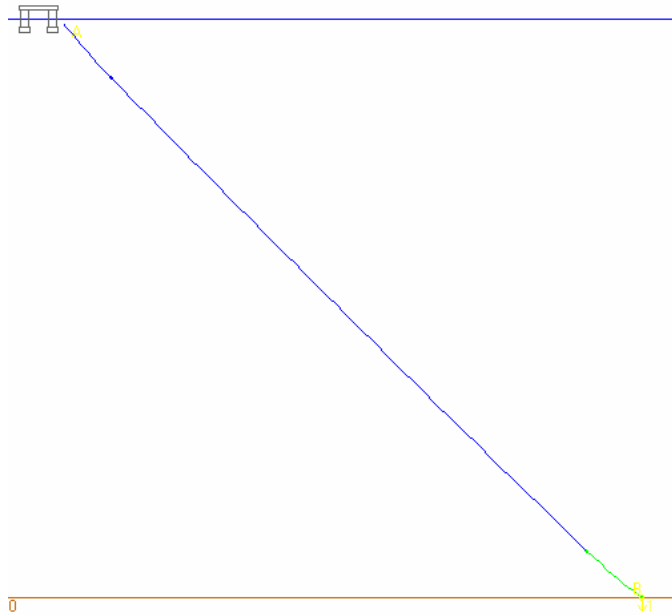


Figura 5 – Linha de ancoragem modelada com o sistema “taut-leg” para a lâmina d’água de 1200 metros

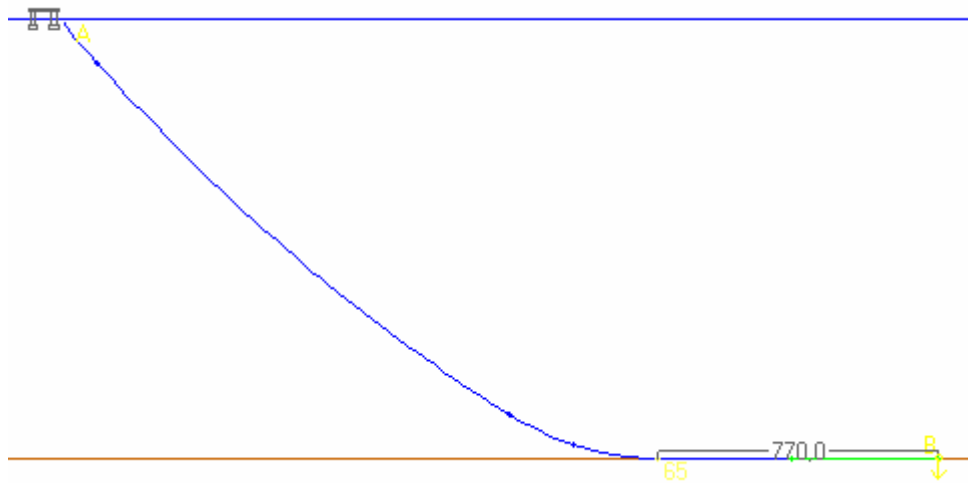


Figura 6 – Linha de ancoragem modelada com o sistema convencional para a lâmina d’água de 1200 metros

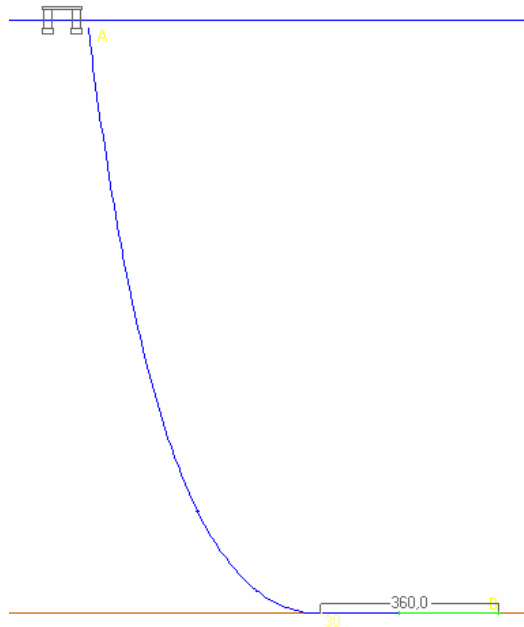


Figura 7 – Riser para a lâmina d’água de 1200 metros

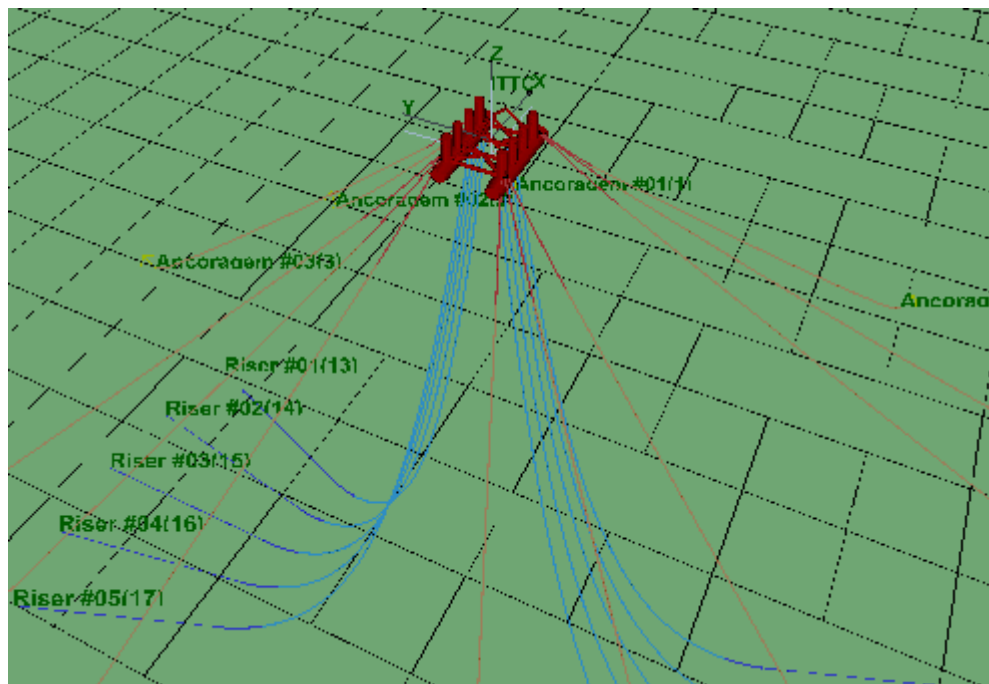


Figura 8 – Unidade Flutuante acoplada com as linhas modeladas com o sistema “taut-leg”

2.3.1.3 Refinamento da malha de elementos finitos

Todas as linhas de ancoragem para os dois sistemas e todos os risers foram modelados com elementos de treliça, já que não possuem resistência à flexão.

Os elementos de amarra das linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” possuem 10 metros de comprimento (o que corresponde a 0,83% da lâmina d’água), tanto no topo quanto no fundo, que variam gradativamente a elementos de 20 metros (o que corresponde a 1,67% da lâmina d’água) no contato com o poliéster.

Já no trecho composto por poliéster, os elementos possuem um comprimento de 20 metros, já que neste trecho não há grandes variações de tensões como no topo e na âncora, por serem os pontos onde está sendo aplicado o carregamento ambiental.

Já para o sistema em catenária convencional, foi realizada uma análise de offset da unidade flutuante para uma variação de passeio de, no máximo, 10% da lâmina d’água.

Com isso, puderam ser verificados os elementos que poderiam entrar em contato com o solo marinho devido ao passeio da unidade flutuante.

Neste trecho (de 600 metros), foram utilizados elementos de amarra de 10 metros de comprimento.

No trecho que estaria sempre apoiado no fundo (400 metros) foi usada uma variação gradativa de elementos de 20 metros de comprimento na âncora para 10 metros de comprimento.

No trecho de amarra restante que estaria sempre suspenso (200 metros) foi usada uma variação gradativa de elementos de 10 metros no contato com o trecho do TDP para elementos de 30 metros (o que corresponde a 2,5% da lâmina d’água) no contato com o cabo de aço.

O trecho da linha composto pelo cabo de aço foi modelado com elementos de 30 metros de comprimento.

O trecho de amarra de topo foi modelado com uma variação gradativa de elementos de 30 metros no contato com o cabo de aço para elementos de 20 metros no topo.

Já para os risers, também foi realizada uma análise de offset como a descrita anteriormente e, no trecho do TDP foram utilizados elementos de 10 metros de comprimento.

No trecho suspenso foram utilizados elementos de 20 metros de comprimento, após um trecho de transição.

Na âncora foram utilizados elementos que variam gradativamente de 20 metros de comprimento até elementos de 10 metros no contato com o techo do TDP.

No topo foram utilizados elementos que variam gradativamente de 10 metros a 20 metros no contato com o trecho suspenso.

Com isso, mantém-se uma malha que varia uniformemente, sendo mais refinada nos trechos críticos e menos refinada nos trechos onde não há grandes variações de tensões.

O tamanho dos elementos foram escolhidos com base na recomendação de projeto de 1,5% a 2,5% da lâmina d’água.

2.3.2 Profundidade de 3000 metros

2.3.2.1 Dados de Material

Os materiais que compõem as linhas de ancoragem estão descritos na tabela a seguir:

Tabela 12 – Dados de Material das linhas de ancoragem para 3000 metros

Característica	Material	
	Amarra R3	Poliéster
Diâmetro Externo (m)	0.102	0.175
Coef. Poisson	0.3	0.3
EA (kN)	868318	130052
EI (kN*m ²)	1	0.7
E dinâmico (kN/m ²)	106264567	12288497
GJ (kN*m ²)	0.7	0.5
Mbl - Carga Ruptura (kN)	8315	8829
Peso ar (kN/m)	2.0413	0.2031
P água (kN/m)	1.7759	0.0534
Diâmetro Hidrodinâmico (m)	0.179	0.175

Para esta profundidade de lâmina d'água está sendo usado somente poliéster como material para o trecho intermediário da linha de ancoragem, tanto para o sistema em catenária convencional, como para o sistema em catenária "taut-leg". Isso porque, mesmo que o sistema em catenária convencional seja ancorado pelo peso da linha, como a lâmina d'água é muito profunda, o uso do cabo de aço causaria trações de topo muito grandes.

O material que compõe os risers está descrito na tabela a seguir:

Tabela 13 – Dados de Material dos risers para 3000 metros

Característica	Material
	Riser
Diâmetro Externo (m)	0.1015
Diâmetro Interno (m)	0.0635
Coef. Poisson	0.3
EA (kN)	9009
EI (kN*m ²)	0.7
GJ (kN*m ²)	0.5
Peso ar (kN/m)	0.174
P água (kN/m)	0.0927
Diâmetro Hidrodinâmico (m)	0.1015

2.3.2.2 Parâmetros de Definição das linhas

A tabela abaixo mostra as condições de contorno para a definição da catenária das linhas de ancoragem do sistema “taut-leg” para a profundidade de 3000 metros:

Tabela 14 – Parâmetros de definição das linhas de ancoragem do sistema “taut-leg” para 3000 metros

Característica	Valor
Tração de Topo (kN)	2256
Comp Horiz da T Topo (kN)	1400
Comp Vert da T Topo (kN)	1770
Projeção Horizontal (m)	3000
Comprimento Total (m)	4180
Deformação (%)	1.43
Comprimento Deformado (m)	4240
Comprimento Suspenso (m)	4240
Amarra R3 de Topo (m)	150
Poliéster (m)	3880
Amarra R3 de Fundo (m)	150

A tabela abaixo mostra as condições de contorno para a definição da catenária das linhas de ancoragem do sistema convencional para a profundidade de 3000 metros:

Tabela 15 – Parâmetros de definição das linhas de ancoragem do sistema convencional para 3000 metros

Característica	Valor
Tração de Topo (kN)	2683
Comp Horiz da T Topo (kN)	1891
Comp Vert da T Topo (kN)	1904
Projeção Horizontal (m)	6000
Comprimento Total (m)	6950
Deformação (%)	1.137
Comprimento Deformado (m)	7029
Comprimento Suspenso (m)	5129
Amarra R3 de Topo (m)	150
Poliéster (m)	4100
Amarra R3 de Fundo (m)	2700

A tabela abaixo mostra as condições de contorno para a definição da catenária dos risers dos dois sistemas para a profundidade de 3000 metros:

Tabela 16 – Parâmetros de definição dos risers para 3000 metros

Característica	Valor
Tração de Topo (kN)	309
Comp Horiz da T Topo (kN)	38
Comp Vert da T Topo (kN)	307
Projeção Horizontal (m)	1738
Comprimento Total (m)	3900
Deformação (%)	1.518
Comprimento Deformado (m)	3959
Comprimento Suspenso (m)	3379
Ângulo de Topo c/ Vertical	7

A tabela abaixo mostra a disposição das linhas acopladas na unidade flutuante para a profundidade de 3000 metros:

Tabela 17 – Disposição das linhas na unidade flutuante para 3000 metros

Linha	Azimute (°)	Conexão
Ancoragem 01	67.5	1
Ancoragem 02	45.0	2
Ancoragem 03	22.5	3
Ancoragem 04	337.5	4
Ancoragem 05	315.0	5
Ancoragem 06	292.5	6
Ancoragem 07	247.5	7
Ancoragem 08	225.0	8
Ancoragem 09	202.5	9
Ancoragem 10	157.5	10
Ancoragem 11	135.0	11
Ancoragem 12	112.5	12
Riser 01	20.0	13
Riser 02	10.0	14
Riser 03	0.0	15
Riser 04	350.0	16
Riser 05	340.0	17
Riser 06	200.0	18
Riser 07	190.0	19
Riser 08	180.0	20
Riser 09	170.0	21
Riser 10	160.0	22

As figuras abaixo demonstram as linhas modeladas:

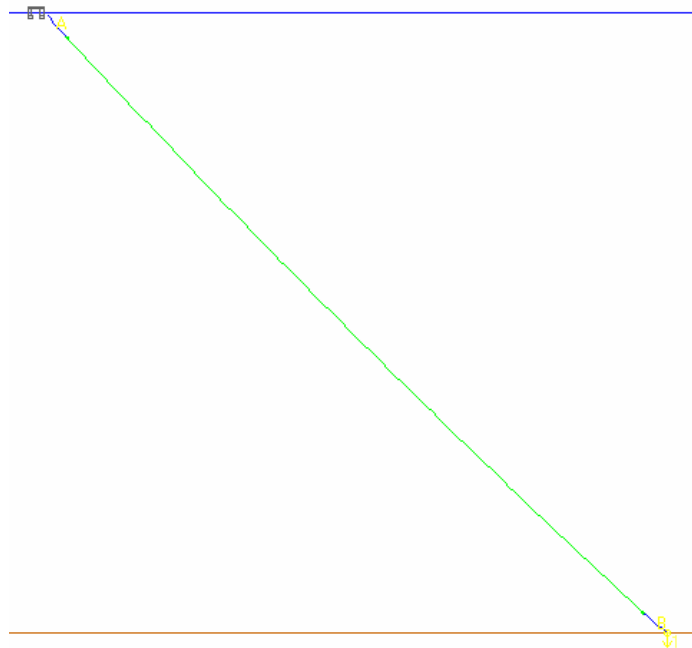


Figura 9 – Linha de ancoragem modelada com o sistema “taut-leg” para a lâmina d’água de 3000 metros

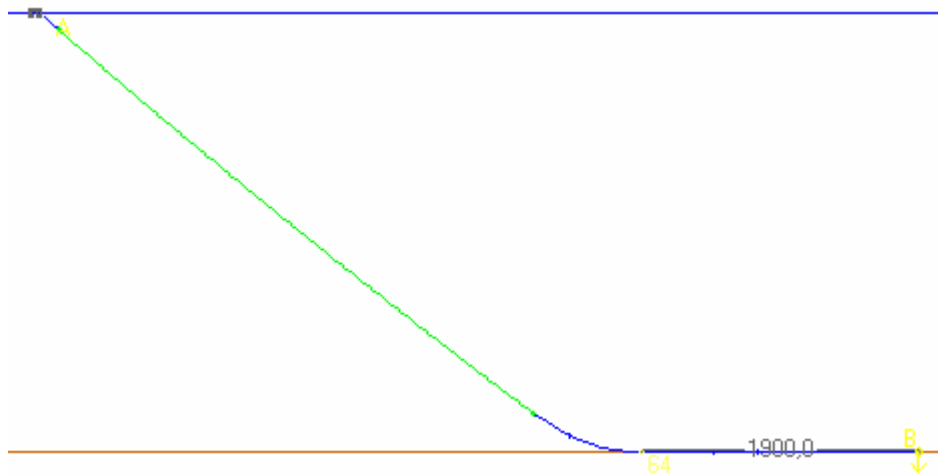


Figura 10 – Linha de ancoragem modelada com o sistema convencional para a lâmina d’água de 3000 metros

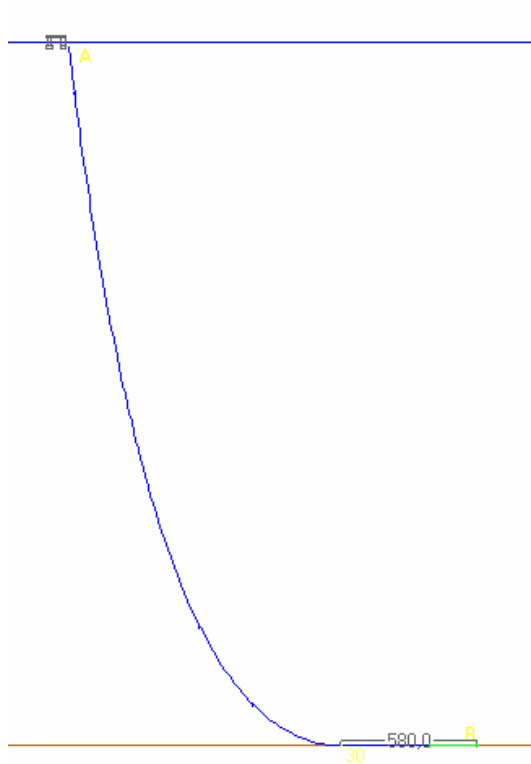


Figura 11 – Riser para a lâmina d’água de 3000 metros

A figura abaixo mostra a unidade flutuante modelada acoplada com as linhas:

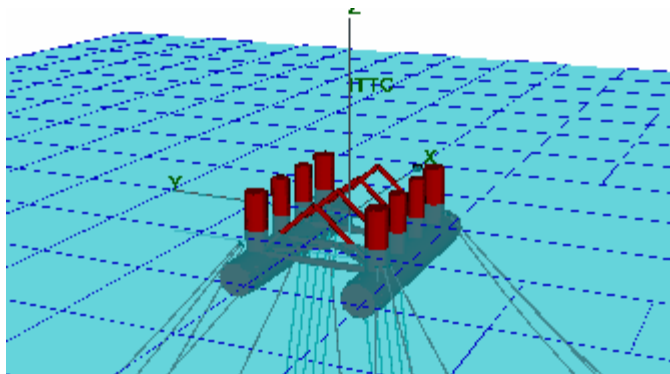


Figura 12 – Unidade Flutuante acoplada com as linhas modeladas com o sistema “taut-leg” para a profundidade de 3000 metros

2.3.2.3 Refinamento da malha de elementos finitos

Todas as linhas de ancoragem para os dois sistemas e todos os risers foram modelados com elementos de treliça, já que não possuem resistência à flexão.

Todos os elementos das linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” possuem 30 metros de comprimento (o que corresponde a 1,0% da lâmina d’água).

Já para o sistema em catenária convencional, foi realizada uma análise de offset da unidade flutuante para uma variação de passeio de, no máximo, 10% da lâmina d’água.

Com isso, puderam ser verificados os elementos que poderiam entrar em contato com o solo marinho devido ao passeio da unidade flutuante.

Neste trecho (de 1000 metros), foram utilizados elementos de amarra de 20 metros de comprimento (o que corresponde a 0,67% da lâmina d’água).

No trecho que está sempre apoiado no fundo (1400 metros) foram utilizados elementos de 40 metros (o que corresponde a 1,33% da lâmina d’água) com comprimento total de 1100 metros seguido de uma variação gradativa de elementos de 40 metros de comprimento para 20 metros de comprimento no contato com o trecho do TDP com comprimento total de 300 metros.

No trecho de amarra restante que estaria sempre suspenso (200 metros) foi usada uma variação gradativa de elementos de 20 metros no contato com o trecho do TDP para elementos de 30 metros no contato com o poliéster.

O trecho da linha composto por poliéster foi modelado com elementos de 30 metros de comprimento.

O trecho de amarra de topo foi modelado com elementos de 30 metros de comprimento.

Já para os risers, também foi realizada uma análise de offset como a descrita anteriormente e, no trecho do TDP foram utilizados elementos de 20 metros de comprimento.

No trecho suspenso foram utilizados elementos de 40 metros de comprimento, após um trecho de transição.

Na âncora foram utilizados elementos de 20 metros de comprimento.

No topo foram utilizados elementos que variam gradativamente de 20 metros a 40 metros no contato com o trecho suspenso.

Com isso, mantém-se uma malha que varia uniformemente, sendo mais refinada nos trechos críticos e menos refinada nos trechos onde não há grandes variações de tensões.

O tamanho dos elementos foram escolhidos com base na recomendação de projeto de 1,5% a 2,5% da lâmina d’água.

2.4 Parâmetros de Análise

Antes de cada análise dinâmica, é realizada uma análise estática do conjunto. Esta análise coloca a unidade flutuante em sua posição de equilíbrio levando em consideração o peso das linhas do sistema e o carregamento aplicado sobre ela.

A partir das posições de equilíbrio encontradas nas análises estáticas, é que se realizam as análises dinâmicas, o que evita que o sistema fique oscilando muito tempo até atingir uma posição de equilíbrio.

Cada análise dinâmica foi realizada com um intervalo de integração de 0,1 segundos para um tempo total de 3600 segundos (1 hora), que é recomendado para projetos de ancoragem de unidades flutuantes acopladas.

Para evitar que o sistema sofra um impacto dinâmico repentino muito grande, os carregamentos atuantes foram aplicados com um tempo de rampa de 300 segundos.

Deve-se ressaltar que o poliéster é um material não linear e seu módulo de elasticidade varia conforme o nível de tensões. Portanto, para as análises estáticas, o módulo de elasticidade considerado é diferente das análises dinâmicas. O programa utilizado para as análises considera automaticamente essa mudança.

Os resultados de movimento da unidade flutuante são calculados em relação ao centro de gravidade da mesma.

3 CRITÉRIOS DE PROJETO

3.1 Metodologia

Os critérios de projeto a ser atendidos foram retirados da norma API 2SK [4].

Basicamente, para que um sistema de ancoragem seja válido, ele deve atender aos seguintes critérios de projeto:

- Passeio (ou “offset”) máximo da unidade flutuante – este critério existe para evitar danificar os risers acoplados à mesma. O mesmo é verificado com condições de carregamento extremas (centenárias e decenárias);
- Tração Máxima nas linhas de ancoragem – para evitar a ruptura das linhas que ancoram a unidade flutuante. Este critério é verificado com condições de carregamento extremas;
- Tração Mínima no poliéster – este critério serve para assegurar que o poliéster não vai sofrer uma ruptura por fadiga. O critério é verificado com condições de carregamento anuais;
- Passeio da unidade flutuante e Trações Máximas nas linhas de ancoragem para uma situação com uma linha rompida – serve para assegurar que os risers não serão danificados e que não haverá a ruptura de mais linhas quando ocorre o rompimento de uma linha. Para se obter o passeio máximo da unidade flutuante com uma linha rompida, deve-se fazer uma análise rompendo a linha mais tracionada do sistema para a condição mais desfavorável. Este rompimento é realizado durante a análise dinâmica, após a unidade flutuante ter estabilizado suas oscilações devido ao desequilíbrio inicial do sistema. Para se obter a tração máxima em uma linha do sistema com uma linha rompida, deve-se fazer uma análise rompendo a segunda linha mais tracionada, o que solicitará a mais tracionada, para a condição mais desfavorável. Porém, os coeficientes de ponderação são mais amenos. Este critério é verificado com condições de carregamento extremas.

Dos critérios de projeto citados acima, somente o último não será verificado, pois o objetivo do estudo é comparar dois sistemas de ancoragem e a verificação dos três primeiros casos é suficiente para validar um sistema de ancoragem com tal propósito.

As condições de carregamento serão obtidas de um banco de dados meteorológicos da Bacia de Campos [5] com as seguintes características:

- Condição Extrema – correnteza e onda centenárias e vento decenário;
- Condição Anual – correnteza, onda e vento anuais.

Os coeficientes de segurança usados no projeto são descritos nos tópicos a seguir.

3.2 Critérios Adotados

3.2.1 Passeio Máximo da unidade flutuante

O passeio máximo tolerável da unidade flutuante é de 10% da lâmina d'água (LDA). Quando o mesmo está dentro dessa tolerância, diz-se que o offset máximo é o convencional.

Caso a unidade flutuante possua um passeio máximo menor que 5% da lâmina d'água, diz-se que o offset máximo é o reduzido. Os projetos atuais estão estudando a viabilidade do uso do offset reduzido como premissa para futuros projetos.

3.2.2 Tração Máxima nas linhas de ancoragem

Os seguintes fatores de segurança são empregados, de acordo com a norma em relação à carga de ruptura das linhas de ancoragem (Mbl):

Tabela 18 – Fatores de Segurança para tração máxima nas linhas de ancoragem

Material	Fator de Segurança (FS)
Amarra	1.67
Cabo de Aço	1.67
Poliéster	1.837

3.2.3 Tração Mínima no cabo de poliéster

A tração mínima a que o cabo de poliéster deve estar submetido para evitar a ruptura por fadiga é de 5% de sua carga de ruptura (Mbl).

3.3 Análise Estatística dos resultados

O programa SITUA/PROSIM [1] utilizado para a análise dinâmica da unidade flutuante acoplada com as linhas de ancoragem e os risers, fornece como saída o histórico no tempo dos deslocamentos e forças.

Os deslocamentos a serem verificados são:

- Offset – máximo movimento de translação da unidade flutuante;
- Surge – movimento de translação da UF ao longo do eixo x;
- Sway – movimento de translação da UF ao longo do eixo y;

Os esforços a serem verificados são:

- Tração Máxima no tramo de amarra – obtida do nó de topo das linhas de ancoragem;
- Tração Máxima no tramo de poliéster ou cabo de aço – obtida do nó de ligação dos mesmos com o tramo de amarra superior;
- Tração Mínima do tramo de poliéster – obtida do nó de ligação do mesmo com o tramo de amarra de fundo.

Como prática de projeto, as análises são realizadas para 3600 segundos (1 hora) e os valores máximos e mínimos são obtidos por uma extrapolação estatística dos valores obtidos para um tempo de análise de 10800 segundos.

Esta extrapolação será feita com o auxílio de um programa feito em Fortran que colhe esses dados e faz uma análise de Weibull.

Para análise estatística dos dados, o tempo de rampa é desconsiderado, para que os picos de resposta em que o sistema ainda não oscila em torno da média não sejam considerados estatisticamente.

4 DADOS DE CARREGAMENTO

As condições de carregamento serão obtidas de um banco de dados meteoceanográficos da Bacia de Campos [5] .

Para se obter o caso mais desfavorável, as condições ambientais serão aplicadas em oito direções distintas: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste.

As condições ambientais usadas nas análises estão descritas a seguir:

4.1 Análises em lâmina d'água com profundidade de 1200 metros

Os dados de correnteza possuem um perfil variável ao longo da profundidade. Abaixo estão descritas as velocidades de topo para cada direção de carregamento considerada:

Tabela 19 – Perfis de Correnteza Centenária e Anual para análises em profundidade de 1200 metros

Condição	Direção							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	Velocidade de Topo (m/s)							
Centenária	1.32	1.34	1.25	1.75	1.96	1.89	1.36	1.30
Anual	0.96	1.07	1.03	1.42	1.61	1.47	1.05	1.08

* Convenção de direção de correnteza é “indo para”

Tabela 20 – Ondas Centenária e Anual para análises em profundidade de 1200 metros

Cond	Direção															
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW	
	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp
Cent	5.01	9.56	5.17	9.77	4.87	10.4	6.53	11.6	7.1	14.4	7.84	15.6	3.88	8.51	3.88	8.51
Anual	4.44	8.81	4.55	9.13	3.72	9.35	4.81	10.9	5.14	12.7	6.37	13.9	3.21	7.91	3.21	7.91

*Hs – altura de onda (m) e Tp – período de onda (s)

*Obs: Convenção de direção de onda é “vindo de”

Tabela 21 – Velocidades (m/s) de Ventos Centenário e Anual para análises em profundidade de 1200 metros

Condição	Direção							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Centenário	28.54	29.11	25.57	28.05	31.24	31.58	31.88	25.00
Anual	17.76	18.64	15.18	15.76	17.52	17.31	16.17	13.50

*Obs: Convenção de direção de vento é “vindo de”

4.2 Análises em lâmina d'água com profundidade de 3000 metros

Os dados de correnteza possuem um perfil variável ao longo da profundidade. Abaixo estão descritas as velocidades de topo para cada direção de carregamento considerada:

Tabela 22 – Perfis de Correnteza Centenária e Anual para análises em profundidade de 3000 metros

Condição	Direção							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	Velocidade de Topo (m/s)							
Centenária	1.23	1.41	1.14	1.44	1.33	1.18	1.09	1.02
Anual	0.85	1.11	0.72	1.14	1.05	0.79	0.69	0.69

*Convenção de direção de correnteza é “indo para”

Tabela 23 – Ondas Centenária e Anual para análises em profundidade de 3000 metros

Cond	Direção															
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW	
	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp
Cent	5.01	9.56	5.17	9.77	4.87	10.4	6.53	11.6	7.1	14.4	7.84	15.6	3.88	8.51	3.88	8.51
Anual	4.44	8.81	4.55	9.13	3.72	9.35	4.81	10.9	5.14	12.7	6.37	13.9	3.21	7.91	3.21	7.91

*Hs – altura de onda (m) e Tp – período de onda (s)

*Obs: Convenção de direção de onda é “vindo de”

Tabela 24 – Velocidades (m/s) de Ventos Centenário e Anual para análises em profundidade de 3000 metros

Condição	Direção							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Centenário	28.54	29.11	25.57	28.05	31.24	31.58	31.88	25.00
Anual	17.76	18.64	15.18	15.76	17.52	17.31	16.17	13.50

*Obs: Convenção de direção de vento é “vindo de”

5 RESULTADOS PARA A PROFUNDIDADE DE 1200 METROS

5.1 Sistema em catenária “taut-leg”

5.1.1 Estatística de Máximos de Movimento

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos:

Tabela 25 – Passeios máximos da unidade flutuante para as diversas condições de carregamento aplicadas para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros

Condição	Movimento	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
N	Offset (m)	20.17	0.88685	23.79	24.34
	Surge (m)	0.89	0.01502	0.93	0.93
	Sway (m)	20.15	0.88800	23.77	24.32
NE	Offset (m)	21.85	1.13744	26.84	27.68
	Surge (m)	15.84	0.87815	19.59	20.21
	Sway (m)	15.04	0.74335	18.35	18.92
E	Offset (m)	10.30	0.38981	11.74	11.95
	Surge (m)	9.84	0.40533	11.34	11.55
	Sway (m)	3.05	0.01658	3.11	3.14
SE	Offset (m)	17.13	0.31483	18.58	18.87
	Surge (m)	13.35	0.24295	14.49	14.71
	Sway (m)	-10.74	0.21845	-11.63	-11.79
S	Offset (m)	24.80	0.39785	26.51	26.78
	Surge (m)	-1.75	0.00498	-1.76	-1.77
	Sway (m)	-24.74	0.39889	-26.46	-26.73
SW	Offset (m)	26.89	0.53138	29.19	29.59
	Surge (m)	-18.43	0.38756	-20.07	-20.33
	Sway (m)	-19.58	0.38493	-21.24	-21.55
W	Offset (m)	17.55	0.57789	19.78	20.09
	Surge (m)	-17.52	0.57849	-19.76	-20.07
	Sway (m)	0.86	0.00856	0.90	0.91
NW	Offset (m)	16.64	0.82674	20.01	20.56
	Surge (m)	-10.97	0.67581	-13.82	-14.30
	Sway (m)	12.51	0.54438	14.57	14.90

*DP – desvio padrão

Tabela 26 – Resumo dos movimentos máximos para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros

Movimento	Máximo Absoluto	Condição do valor máximo	% LDA
Offset (m)	29.59	SW	2.47
Surge (m)	-20.33	SW	1.69
Sway (m)	-26.73	S	2.23

Como se pôde ver, o passeio da unidade flutuante esteve abaixo do máximo estabelecido para offset reduzido (5% da lâmina d'água).

5.1.2 Estatística de Trações Máximas

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos (DP – desvio padrão):

Tabela 27 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	992.3	64.0	1204.5	1226.8	1138.2	64.4	1352.0	1374.3
2	743.1	60.0	924.5	940.7	890.9	60.2	1073.5	1089.8
3	619.6	57.0	790.3	805.4	768.8	56.9	939.8	955.0
4	642.9	58.5	816.1	831.1	792.2	58.5	965.6	980.6
5	799.1	62.0	983.7	999.6	947.1	62.2	1132.9	1149.0
6	1064.8	64.4	1276.3	1298.3	1211.2	64.8	1424.2	1446.4
7	1454.9	58.4	1686.1	1718.4	1599.8	58.6	1832.3	1864.9
8	1768.4	66.5	2025.0	2061.1	1912.0	66.4	2168.9	2205.2
9	1975.9	76.6	2273.4	2316.8	2118.7	76.4	2415.0	2458.1
10	1965.5	77.1	2264.7	2308.0	2108.2	76.9	2406.2	2449.2
11	1728.7	66.7	1986.0	2022.1	1872.1	66.7	2129.8	2165.9
12	1394.6	58.1	1625.4	1657.8	1539.1	58.3	1771.3	1803.9

Tabela 28 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	648.2	66.8	878.4	906.4	795.9	67.0	1027.4	1055.5
2	603.5	68.0	839.4	867.7	751.9	67.9	988.3	1016.7
3	659.7	75.9	915.2	944.5	807.3	76.0	1063.6	1092.9
4	868.6	56.5	1063.9	1087.9	1015.3	56.8	1211.8	1236.0
5	1227.4	62.5	1456.1	1486.7	1372.7	62.8	1602.5	1633.3
6	1620.2	79.9	1935.3	1981.7	1764.4	79.8	2079.4	2125.8
7	1966.1	90.3	2334.8	2392.8	2109.2	89.9	2475.7	2533.1
8	2022.9	94.7	2407.7	2467.0	2165.7	94.3	2548.3	2607.2
9	1906.3	89.9	2261.8	2313.6	2049.6	89.6	2403.7	2455.3
10	1658.8	77.4	1978.5	2029.8	1803.0	77.5	2122.9	2174.1
11	1247.1	65.4	1487.4	1520.9	1392.5	65.8	1634.1	1667.8
12	884.3	68.7	1116.7	1145.7	1031.0	68.9	1264.4	1293.5

Tabela 29 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	883.7	36.3	987.7	998.0	1030.5	36.2	1133.9	1143.9
2	939.9	33.7	1039.9	1049.1	1086.4	33.7	1186.1	1195.2
3	1064.0	30.8	1163.9	1174.9	1209.9	30.8	1310.0	1321.0
4	1162.4	32.7	1275.9	1292.3	1308.6	32.7	1422.4	1438.8
5	1354.4	38.4	1495.1	1515.7	1499.7	38.3	1640.2	1660.5
6	1511.9	43.8	1676.0	1700.9	1656.6	43.7	1823.2	1848.5
7	1579.5	45.0	1750.5	1776.6	1723.8	45.0	1893.1	1919.5
8	1513.0	40.6	1661.7	1683.6	1657.6	40.6	1806.5	1828.5
9	1378.0	35.4	1498.9	1515.8	1523.1	35.4	1643.5	1660.3
10	1275.9	30.6	1374.2	1385.0	1420.8	30.7	1519.9	1530.9
11	1090.3	34.1	1189.8	1198.9	1235.8	34.0	1335.8	1345.0
12	948.3	36.0	1050.6	1060.3	1094.6	35.9	1196.8	1206.6

Tabela 30 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	882.3	14.2	945.1	956.9	1028.6	14.1	1091.4	1103.3
2	1169.9	12.9	1237.0	1249.8	1314.4	12.9	1380.9	1393.4
3	1505.7	17.3	1576.5	1587.7	1648.9	17.3	1719.2	1730.2
4	1677.2	38.5	1827.5	1853.7	1820.2	38.5	1971.2	1997.0
5	1796.7	39.9	1974.2	1998.7	1939.5	40.0	2119.5	2144.4
6	1778.7	39.2	1938.8	1968.6	1921.9	39.2	2084.8	2114.9
7	1561.7	18.1	1639.4	1652.5	1706.5	18.1	1784.3	1797.4
8	1257.2	13.6	1308.2	1315.1	1403.6	13.6	1454.8	1461.7
9	972.5	12.9	1015.2	1020.8	1120.9	12.9	1163.8	1169.5
10	847.6	30.8	981.6	1004.0	995.7	30.8	1132.9	1156.2
11	763.9	29.1	908.3	934.4	912.1	29.1	1056.4	1082.4
12	765.1	28.2	896.3	919.3	912.8	28.2	1044.1	1067.2

Tabela 31 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1512.0	34.7	1649.4	1667.7	1655.4	34.8	1793.2	1811.6
2	1903.6	40.2	2074.3	2098.9	2045.6	40.3	2216.0	2240.3
3	2155.5	45.1	2354.2	2384.4	2296.7	45.1	2492.9	2521.9
4	2111.7	45.0	2309.3	2339.3	2253.4	45.0	2450.4	2479.6
5	1807.5	39.9	1977.7	2002.1	1950.5	39.9	2120.4	2144.4
6	1390.2	34.1	1527.3	1545.8	1535.4	34.2	1672.4	1690.5
7	964.0	35.1	1120.6	1144.2	1111.9	35.2	1269.7	1293.5
8	706.5	36.4	853.2	872.3	856.7	36.3	1004.1	1023.4
9	589.3	36.6	731.4	748.8	741.1	36.4	883.6	901.3
10	600.5	36.5	741.1	758.1	751.2	36.2	892.0	909.3
11	740.3	36.3	885.5	904.4	888.6	36.3	1034.9	1054.1
12	1045.4	34.9	1200.2	1223.6	1191.0	35.1	1347.0	1370.6

Tabela 32 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2112.8	60.2	2359.4	2401.0	2253.8	60.3	2500.3	2540.8
2	2214.1	61.7	2459.8	2505.0	2354.7	61.7	2599.7	2644.5
3	2102.9	59.9	2331.2	2368.9	2244.0	60.0	2473.2	2510.5
4	1785.2	31.6	1935.4	1961.3	1928.3	31.6	2082.0	2108.6
5	1284.6	21.1	1379.6	1396.0	1430.1	21.2	1524.7	1540.9
6	858.6	21.4	940.4	952.0	1007.5	21.3	1089.6	1101.2
7	632.0	38.0	806.9	837.3	783.8	38.1	959.9	990.4
8	578.3	36.2	745.9	775.2	730.9	36.2	899.5	928.9
9	609.4	38.6	785.0	815.0	761.1	38.6	938.0	968.4
10	772.6	19.0	851.1	864.3	921.5	19.0	1000.0	1013.2
11	1162.8	23.6	1269.1	1287.7	1308.3	23.7	1414.8	1433.5
12	1644.3	31.3	1779.4	1800.0	1787.3	31.3	1922.3	1942.9

Tabela 33 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1826.0	51.5	2023.3	2052.6	1968.2	51.5	2165.8	2195.5
2	1611.3	44.7	1782.0	1809.2	1754.3	44.7	1925.3	1951.9
3	1310.9	38.4	1458.5	1481.0	1455.2	38.5	1603.6	1626.3
4	1067.6	38.6	1212.3	1229.7	1213.5	38.8	1359.3	1377.0
5	849.8	38.3	982.9	997.7	997.8	38.4	1131.8	1146.9
6	742.6	38.2	871.1	885.1	892.2	38.2	1021.7	1035.9
7	757.6	38.3	885.0	898.6	907.7	38.3	1036.4	1050.3
8	895.3	38.9	1027.9	1042.5	1043.9	39.0	1177.5	1192.2
9	1135.9	38.9	1279.5	1296.4	1282.7	39.1	1427.3	1444.3
10	1379.9	39.0	1529.5	1552.4	1524.9	39.1	1675.2	1698.1
11	1657.8	45.1	1828.8	1855.9	1801.2	45.1	1972.7	1999.5
12	1841.9	51.7	2039.2	2068.3	1984.2	51.6	2181.1	2210.1

Tabela 34 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1465.4	48.7	1666.6	1695.3	1609.1	48.7	1810.4	1839.2
2	1155.3	37.7	1313.1	1336.0	1300.6	37.8	1458.8	1481.9
3	882.8	35.4	1033.1	1057.8	1030.1	35.5	1180.7	1205.5
4	765.3	61.6	1002.4	1035.3	914.1	61.7	1151.9	1184.8
5	752.7	59.3	974.3	1004.2	902.1	59.4	1124.7	1154.7
6	819.3	58.0	1034.4	1063.6	968.3	58.2	1184.6	1213.8
7	990.6	42.1	1132.2	1149.6	1138.5	42.2	1280.5	1297.9
8	1279.4	35.6	1411.1	1427.7	1425.2	35.8	1558.1	1574.8
9	1596.5	46.2	1788.5	1817.1	1740.7	46.2	1932.9	1961.6
10	1758.0	72.7	2036.6	2079.9	1901.0	72.8	2180.0	2223.3
11	1816.9	75.2	2116.6	2168.0	1959.5	75.2	2258.9	2310.1
12	1742.1	74.1	2033.5	2080.4	1884.7	74.1	2174.9	2221.5

A verificação de trações máximas nas linhas de ancoragem será feita com um coeficiente de segurança normalizado igual a:

$$FS_{norm} = \frac{Mbl}{F_s \times T_{max}}$$

O fator de segurança F_s é retirado da tabela 18.

Com isso, a linha de ancoragem satisfaz a verificação para fatores de segurança normalizados maiores que 1.

Tabela 35 – Resumo de trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros

Linha	Poliéster			Amarra		
	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado
1	2401.0	SW	1.33	2540.8	SW	1.47
2	2505.0	SW	1.28	2644.5	SW	1.42
3	2384.4	S	1.34	2521.9	S	1.48
4	2339.3	S	1.37	2479.6	S	1.51
5	2002.1	S	1.60	2144.4	SE	1.75
6	1981.7	NE	1.62	2125.8	NE	1.76
7	2392.8	NE	1.34	2533.1	NE	1.48
8	2467.0	NE	1.30	2607.2	NE	1.44
9	2316.8	N	1.38	2458.1	N	1.52
10	2308.0	N	1.39	2449.2	N	1.53
11	2168.0	NW	1.48	2310.1	NW	1.62
12	2080.4	NW	1.54	2221.5	NW	1.69

5.1.3 Estatística de Trações Mínimas

Aplicando as condições anuais descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos (DP – desvio padrão):

Tabela 36 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1050.9	43.8	883.7	862.3
2	903.1	44.9	718.6	692.9
3	818.2	46.9	621.9	594.1
4	830.2	47.1	633.3	605.6
5	940.6	45.3	754.5	728.7
6	1104.4	43.7	936.9	915.5
7	1305.9	41.8	1167.8	1153.9
8	1470.0	45.7	1323.6	1308.7
9	1576.2	51.0	1417.1	1401.3
10	1569.1	51.3	1408.5	1392.6
11	1439.4	45.8	1293.2	1278.5
12	1258.0	41.5	1121.2	1107.5

Tabela 37 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	806.1	60.6	547.5	508.8
2	771.8	64.6	494.6	453.3
3	818.4	68.8	526.7	483.6
4	946.6	45.8	747.8	715.7
5	1183.1	47.1	1009.9	988.2
6	1427.5	58.3	1247.9	1231.3
7	1617.6	67.7	1399.4	1371.4
8	1650.1	70.9	1416.3	1386.8
9	1578.2	69.8	1341.1	1311.5
10	1452.2	55.3	1283.8	1267.9
11	1194.2	48.4	1011.0	988.2
12	955.0	54.7	717.7	681.0

Tabela 38 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	937.0	28.7	838.9	826.4
2	986.5	26.0	897.2	887.7
3	1083.3	22.8	1015.1	1008.7
4	1158.6	24.7	1075.8	1066.5
5	1293.6	29.0	1207.2	1198.6
6	1399.2	33.0	1293.6	1283.7
7	1434.5	33.7	1327.1	1317.1
8	1378.6	30.1	1289.1	1279.9
9	1276.3	26.0	1188.0	1177.8
10	1199.9	22.7	1130.4	1123.6
11	1069.6	25.9	980.9	971.2
12	972.2	28.2	872.9	859.9

Tabela 39 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	959.8	10.4	919.8	913.8
2	1140.5	8.7	1113.8	1110.6
3	1346.2	12.0	1313.3	1309.8
4	1446.5	28.3	1351.1	1338.3
5	1523.7	29.2	1428.0	1414.5
6	1518.2	28.6	1424.5	1411.5
7	1398.5	12.8	1362.7	1358.8
8	1211.8	9.4	1180.8	1176.9
9	1026.1	10.0	988.9	983.4
10	942.3	22.7	860.4	848.9
11	878.9	22.5	794.6	782.2
12	878.9	21.8	799.8	788.3

Tabela 40 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1355.5	31.9	1242.0	1229.0
2	1622.8	37.2	1502.7	1488.3
3	1799.2	41.7	1665.3	1651.2
4	1778.6	41.7	1644.7	1630.6
5	1582.0	37.0	1463.1	1449.1
6	1305.9	31.7	1193.4	1180.6
7	1020.5	30.8	909.7	897.3
8	811.5	34.2	685.6	671.9
9	698.8	36.1	562.5	547.1
10	707.5	36.0	570.8	555.3
11	831.0	34.1	704.7	691.0
12	1056.4	30.7	946.2	934.1

Tabela 41 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1714.0	54.7	1523.2	1500.0
2	1777.6	55.9	1598.4	1573.5
3	1707.8	54.2	1515.2	1491.6
4	1534.6	24.5	1465.1	1458.2
5	1219.4	16.9	1170.3	1166.0
6	935.3	19.4	863.9	854.3
7	768.6	40.0	626.1	605.4
8	721.5	40.0	576.9	557.0
9	755.9	41.0	606.6	585.3
10	875.1	18.1	810.8	802.0
11	1145.1	18.9	1086.9	1080.1
12	1451.4	25.5	1377.6	1369.9

Tabela 42 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1533.8	40.0	1412.0	1397.7
2	1405.0	35.3	1290.1	1277.1
3	1226.0	30.5	1120.1	1104.7
4	1088.3	27.8	1001.7	993.0
5	947.3	30.0	842.2	829.2
6	869.1	32.1	753.4	738.5
7	876.2	32.2	759.9	744.9
8	976.7	30.5	872.0	859.0
9	1133.9	28.3	1046.8	1038.3
10	1272.1	30.5	1166.0	1150.8
11	1434.2	35.1	1321.1	1308.7
12	1539.3	39.8	1419.0	1405.1

Tabela 43 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1328.5	31.2	1229.2	1218.6
2	1134.4	24.4	1057.0	1048.8
3	957.3	24.4	878.9	869.7
4	878.4	43.5	711.4	687.8
5	866.5	42.1	707.7	685.3
6	915.8	40.1	769.3	749.3
7	1035.2	28.7	923.6	908.2
8	1221.7	23.4	1139.8	1131.2
9	1416.8	28.7	1332.4	1325.0
10	1509.7	48.2	1346.6	1325.1
11	1540.9	48.7	1386.8	1368.1
12	1490.5	47.5	1343.8	1326.4

A verificação de trações mínimas nas linhas de ancoragem será feita com um coeficiente de segurança normalizado igual a:

$$FS_{norm} = \frac{T_{min}}{Mbl \times F_s}$$

O fator de segurança F_s é de 5%.

Com isso, a linha de ancoragem satisfaz a verificação para fatores de segurança normalizados maiores que 1.

Tabela 44 – Resumo de trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros

Linha	Poliéster		
	Tração Mínima (kN)	Condição da Tração Mínima	Fator de Segurança Normalizado
1	508.8	NE	1.73
2	453.3	NE	1.54
3	483.6	NE	1.64
4	605.6	N	2.06
5	685.3	NW	2.33
6	738.5	W	2.51
7	605.4	SW	2.06
8	557.0	SW	1.89
9	547.1	S	1.86
10	555.3	S	1.89
11	691.0	S	2.35
12	681.0	NE	2.31

5.1.4 Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis

Abaixo estão representadas as curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis de movimento da unidade flutuante e tração máxima nas linhas de ancoragem:

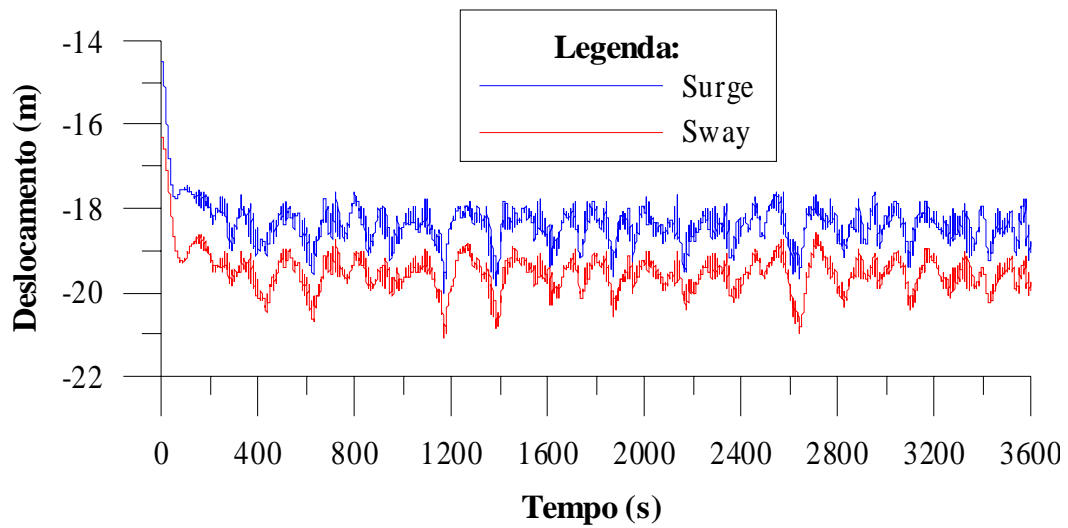


Gráfico 1 – Movimentos de Surge e Sway da unidade flutuante com carregamento centenário atuando na direção Sudoeste para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros

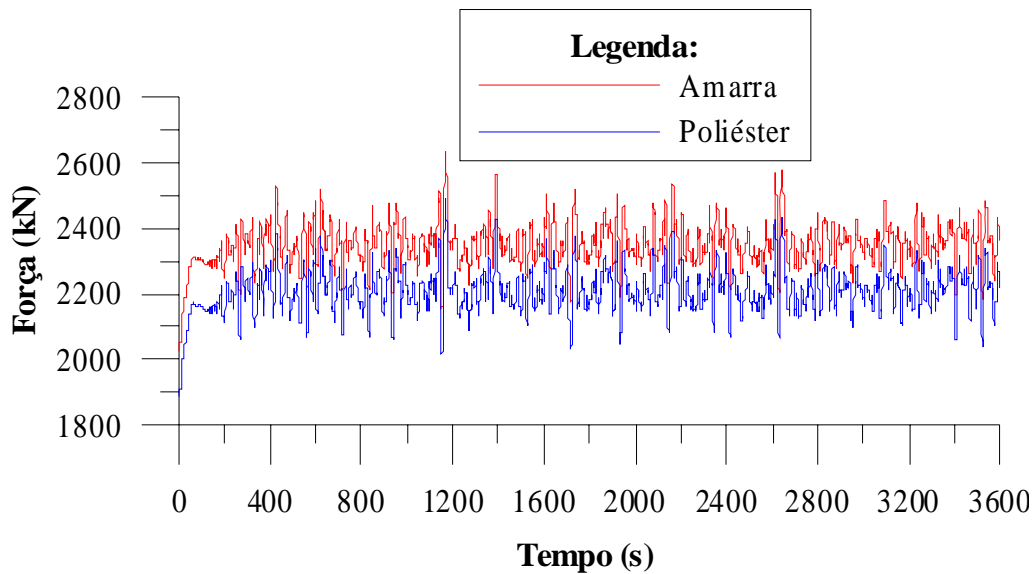


Gráfico 2 – Trações máximas na linha de ancoragem 02 com carregamento centenário atuando na direção Sudoeste para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 1200 metros

5.2 Sistema em catenária convencional

5.2.1 Estatística de Máximos de Movimento

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos:

Tabela 45 – Passeios máximos da unidade flutuante para as diversas condições de carregamento aplicadas para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros

Condição	Movimento	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
N	Offset (m)	58.67	1.26041	62.72	63.17
	Surge (m)	2.05	0.07012	2.18	2.19
	Sway (m)	58.63	1.26262	62.69	63.14
NE	Offset (m)	60.82	1.43956	66.07	66.82
	Surge (m)	43.24	1.14130	47.36	47.93
	Sway (m)	42.77	0.91424	46.08	46.55
E	Offset (m)	28.65	0.50185	30.05	30.19
	Surge (m)	27.15	0.53061	28.63	28.78
	Sway (m)	9.14	0.01665	9.18	9.18
SE	Offset (m)	48.05	0.35458	49.14	49.28
	Surge (m)	36.08	0.27087	36.99	37.12
	Sway (m)	-31.74	0.24790	-32.45	-32.53
S	Offset (m)	69.46	0.54820	71.05	71.19
	Surge (m)	-5.36	0.03125	-5.47	-5.50
	Sway (m)	-69.26	0.54863	-70.84	-70.98
SW	Offset (m)	74.08	0.68353	76.28	76.58
	Surge (m)	-50.16	0.53260	-51.97	-52.22
	Sway (m)	-54.52	0.47021	-55.98	-56.18
W	Offset (m)	50.61	0.86167	53.12	53.37
	Surge (m)	-50.57	0.86295	-53.09	-53.34
	Sway (m)	1.88	0.02398	1.93	1.94
NW	Offset (m)	49.27	1.24158	52.65	52.94
	Surge (m)	-32.36	1.01472	-35.45	-35.79
	Sway (m)	37.16	0.81943	39.44	39.66

*DP – desvio padrão

Tabela 46 – Resumo dos movimentos máximos para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros

Movimento	Máximo Absoluto	Condição do valor máximo	% LDA
Offset (m)	76.58	SW	6.38
Surge (m)	-53.34	W	4.45
Sway (m)	-70.98	S	5.92

Como se pôde ver, o passeio da unidade flutuante esteve abaixo do máximo estabelecido para offset convencional (10% da lâmina d'água).

5.2.2 Estatística de Trações Máximas

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos (DP – desvio padrão):

Tabela 47 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1102.3	44.8	1263.4	1280.3	1256.2	44.8	1416.6	1433.4
2	965.5	41.1	1113.7	1129.1	1123.3	40.9	1270.5	1285.7
3	888.3	39.4	1029.5	1043.9	1048.6	39.2	1188.3	1202.4
4	903.8	39.6	1046.2	1061.1	1063.8	39.4	1204.8	1219.4
5	997.9	41.7	1149.3	1165.5	1155.2	41.5	1305.3	1321.2
6	1150.3	45.6	1313.6	1330.9	1303.6	45.6	1466.3	1483.5
7	1557.2	51.2	1736.4	1754.1	1701.0	51.4	1880.9	1898.7
8	1781.1	59.4	1999.2	2022.3	1920.5	59.6	2139.0	2162.3
9	1943.3	68.5	2204.1	2235.2	2079.6	68.6	2340.3	2371.4
10	1919.3	68.6	2178.6	2209.2	2055.9	68.6	2315.0	2345.5
11	1736.4	58.7	1948.9	1971.0	1876.3	58.9	2090.1	2112.6
12	1501.3	49.9	1674.9	1691.8	1645.7	50.1	1820.0	1836.9

Tabela 48 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	886.4	34.9	1006.1	1020.6	1046.3	34.4	1164.0	1178.1
2	857.7	37.0	986.3	1002.6	1018.6	36.4	1144.6	1160.4
3	885.3	40.5	1027.8	1046.0	1045.3	39.9	1184.8	1202.3
4	1103.3	29.5	1218.2	1234.5	1257.0	29.4	1370.8	1386.8
5	1312.1	34.1	1442.3	1459.3	1461.0	34.3	1591.4	1608.4
6	1558.0	50.6	1756.8	1784.4	1701.9	50.9	1900.4	1927.6
7	1954.6	54.8	2195.0	2237.0	2091.0	55.2	2332.0	2373.5
8	2017.6	66.0	2304.5	2353.8	2152.9	66.4	2440.4	2489.4
9	1947.7	66.8	2221.7	2263.0	2084.2	67.2	2359.4	2400.5
10	1564.7	45.7	1745.5	1771.0	1708.5	46.0	1890.1	1915.5
11	1315.4	36.6	1453.6	1471.7	1464.3	36.7	1602.3	1620.4
12	1104.5	36.8	1241.6	1260.2	1258.2	36.5	1393.6	1411.8

Tabela 49 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1066.4	16.2	1122.9	1128.2	1221.3	16.3	1278.0	1283.3
2	1089.3	15.7	1145.3	1150.7	1243.6	15.8	1300.0	1305.4
3	1144.8	15.8	1202.0	1207.7	1297.8	16.0	1355.4	1361.2
4	1310.4	15.0	1371.7	1379.1	1459.5	15.1	1521.3	1528.8
5	1422.3	17.9	1493.9	1502.2	1569.0	18.0	1641.1	1649.4
6	1520.4	21.0	1600.6	1609.3	1664.9	21.0	1745.4	1754.2
7	1598.2	21.9	1681.2	1690.1	1741.0	21.9	1824.4	1833.4
8	1564.5	20.1	1644.3	1653.5	1708.0	20.2	1788.2	1797.5
9	1488.9	18.0	1561.8	1570.6	1633.9	18.1	1707.2	1716.1
10	1302.2	18.5	1368.0	1374.3	1451.2	18.6	1517.4	1523.8
11	1200.4	17.5	1262.2	1268.1	1351.7	17.6	1413.8	1419.7
12	1122.1	17.0	1180.8	1186.2	1275.4	17.0	1334.4	1339.9

Tabela 50 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1116.1	8.7	1148.6	1152.2	1269.2	8.7	1301.8	1305.3
2	1272.9	8.9	1307.1	1310.8	1422.0	9.0	1456.3	1460.0
3	1458.4	10.5	1497.5	1501.6	1603.3	10.5	1642.6	1646.7
4	1748.2	22.6	1827.6	1835.7	1887.5	22.7	1967.2	1975.3
5	1818.3	20.8	1893.7	1901.6	1956.4	20.9	2032.3	2040.2
6	1792.4	18.9	1859.9	1866.9	1931.2	18.9	1999.2	2006.3
7	1528.3	12.5	1572.6	1577.0	1672.9	12.6	1717.6	1722.1
8	1343.9	8.2	1373.8	1377.0	1492.7	8.3	1522.9	1526.1
9	1178.6	7.5	1206.6	1209.5	1331.5	7.5	1359.4	1362.3
10	991.6	15.8	1053.6	1060.5	1149.4	15.9	1211.7	1218.6
11	953.2	14.3	1008.8	1015.0	1111.7	14.5	1167.8	1174.1
12	963.1	14.0	1016.9	1022.7	1121.0	14.2	1175.3	1181.2

Tabela 51 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1611.6	43.2	1770.5	1786.0	1753.3	43.1	1911.7	1927.1
2	1884.1	51.0	2074.9	2094.1	2020.6	50.7	2210.3	2229.5
3	2075.3	55.7	2288.1	2310.3	2208.6	55.2	2419.7	2441.7
4	2021.1	55.6	2234.0	2256.1	2155.5	55.1	2366.9	2389.0
5	1795.7	50.4	1985.0	2004.0	1934.4	50.1	2122.5	2141.5
6	1518.5	41.4	1672.6	1687.8	1663.0	41.3	1816.7	1831.9
7	1081.2	38.1	1229.3	1245.3	1236.9	38.2	1384.3	1400.0
8	935.5	35.8	1076.5	1092.0	1095.5	36.0	1235.8	1250.9
9	857.3	34.8	992.5	1007.2	1019.8	35.0	1155.1	1169.5
10	873.0	35.6	1010.0	1024.5	1034.5	35.9	1171.6	1186.0
11	968.9	37.6	1113.4	1128.4	1126.8	37.8	1270.8	1285.6
12	1135.8	40.6	1289.2	1305.0	1288.7	40.6	1441.4	1457.0

Tabela 52 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2085.7	28.7	2191.7	2203.1	2218.6	28.9	2325.8	2337.5
2	2190.2	33.0	2311.5	2324.4	2321.3	33.2	2443.8	2456.9
3	2118.3	37.6	2255.9	2270.7	2250.7	37.8	2389.3	2404.2
4	1648.1	19.8	1722.6	1731.0	1789.6	20.0	1864.7	1873.2
5	1349.9	15.1	1408.8	1415.8	1498.1	15.2	1557.2	1564.2
6	1105.9	13.7	1160.2	1166.8	1260.6	13.8	1314.9	1321.4
7	859.3	18.8	930.2	938.3	1022.0	19.0	1093.3	1101.3
8	821.6	18.9	894.0	902.5	985.7	19.1	1058.1	1066.4
9	842.8	20.5	922.8	932.5	1006.0	20.6	1086.1	1095.8
10	1054.3	11.0	1099.8	1105.5	1210.0	11.0	1255.7	1261.4
11	1279.4	14.1	1336.9	1344.1	1428.9	14.3	1487.0	1494.2
12	1565.7	23.4	1654.8	1664.9	1708.6	23.6	1798.4	1808.5

Tabela 53 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1793.5	30.0	1905.1	1916.9	1931.6	30.1	2043.7	2055.6
2	1648.5	27.3	1751.7	1762.8	1789.5	27.4	1893.4	1904.7
3	1457.8	24.7	1555.2	1567.0	1602.8	24.9	1701.0	1712.9
4	1136.5	24.2	1225.3	1235.0	1289.7	24.3	1378.9	1388.7
5	1021.4	21.1	1096.6	1104.5	1178.1	21.2	1253.6	1261.5
6	957.4	19.9	1026.7	1033.8	1116.4	20.0	1186.0	1193.1
7	970.8	20.3	1040.1	1047.1	1129.7	20.3	1199.3	1206.3
8	1050.2	21.9	1127.2	1135.3	1206.7	21.9	1283.9	1291.9
9	1180.0	25.3	1273.3	1283.6	1332.9	25.4	1426.3	1436.6
10	1509.3	25.3	1610.1	1622.6	1653.9	25.5	1755.4	1767.9
11	1689.3	27.4	1793.6	1804.9	1829.8	27.6	1934.8	1946.3
12	1815.4	29.8	1926.8	1938.7	1953.3	29.9	2064.9	2076.8

Tabela 54 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Cabo de Aço (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1452.1	31.1	1579.1	1596.2	1597.3	31.5	1725.5	1742.6
2	1266.3	21.8	1356.9	1369.2	1416.0	22.0	1507.3	1519.6
3	1109.3	18.8	1185.3	1195.3	1263.1	18.8	1339.1	1349.1
4	952.6	33.0	1074.1	1089.1	1111.5	32.9	1232.0	1246.8
5	944.1	30.2	1052.8	1066.1	1103.5	30.0	1211.2	1224.1
6	983.4	28.9	1087.6	1100.1	1141.9	28.8	1245.5	1257.9
7	1181.1	24.9	1278.1	1290.8	1333.8	24.8	1430.7	1443.4
8	1352.0	24.0	1448.5	1461.3	1500.4	24.1	1597.4	1610.3
9	1544.8	27.7	1657.5	1672.6	1688.8	28.0	1802.8	1818.0
10	1811.8	46.7	1994.1	2016.3	1950.0	47.1	2134.2	2156.6
11	1839.8	41.6	2002.2	2021.9	1977.3	41.9	2141.6	2161.6
12	1769.5	36.0	1911.0	1928.4	1908.2	36.4	2051.5	2069.1

A verificação de trações máximas nas linhas de ancoragem será feita com um coeficiente de segurança normalizado igual a:

$$FS_{norm} = \frac{Mbl}{F_s \times T_{max}}$$

O fator de segurança F_s é retirado da tabela 18.

Com isso, a linha de ancoragem satisfaz a verificação para fatores de segurança normalizados maiores que 1.

Tabela 55 – Resumo de trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros

Linha	Cabo de Aço			Amarra		
	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado
1	2203.1	SW	1.56	2337.5	SW	1.60
2	2324.4	SW	1.48	2456.9	SW	1.52
3	2310.3	S	1.49	2441.7	S	1.53
4	2256.1	S	1.53	2389.0	S	1.57
5	2004.0	S	1.72	2141.5	S	1.75
6	1866.9	SE	1.85	2006.3	SE	1.87
7	2237.0	NE	1.54	2373.5	NE	1.58
8	2353.8	NE	1.46	2489.4	NE	1.50
9	2263.0	NE	1.52	2400.5	NE	1.56
10	2209.2	N	1.56	2345.5	N	1.60
11	2021.9	NW	1.70	2161.6	NW	1.73
12	1938.7	W	1.78	2076.8	W	1.80

5.2.3 Estatística de Trações Mínimas

Será feita uma estatística de trações mínimas no cabo de aço apenas para efeito comparativo, pois este não é um critério de projeto.

Aplicando as condições anuais, os seguintes resultados foram:

Tabela 56 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	770.1	32.9	661.4	650.9
2	697.8	34.2	578.9	567.6
3	655.1	33.9	539.0	527.9
4	666.1	34.1	549.6	538.5
5	720.6	34.7	600.5	589.1
6	803.3	33.5	693.2	682.9
7	1001.7	36.3	883.0	871.3
8	1099.8	43.4	956.2	942.1
9	1167.1	48.5	1002.2	985.3
10	1152.6	48.4	987.3	970.2
11	1071.8	42.8	928.4	914.2
12	965.0	35.3	849.3	837.8

Tabela 57 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	630.9	29.1	505.6	486.9
2	613.0	31.8	473.2	452.0
3	630.6	34.9	477.8	454.1
4	763.5	22.6	667.2	650.5
5	881.7	24.4	788.1	774.1
6	1013.8	33.5	891.6	875.2
7	1212.3	33.5	1110.2	1100.1
8	1242.3	39.8	1118.7	1106.1
9	1208.7	43.7	1071.1	1056.8
10	1015.4	29.3	905.8	890.0
11	881.7	26.1	776.0	759.5
12	762.6	28.6	633.8	610.7

Tabela 58 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	726.2	12.1	680.4	675.9
2	745.7	11.0	705.3	701.4
3	785.4	10.4	748.6	745.0
4	896.2	10.2	862.7	859.7
5	964.7	12.8	922.8	919.2
6	1021.3	16.1	968.1	963.6
7	1057.0	16.6	1001.9	997.2
8	1030.8	13.9	985.2	981.2
9	980.9	11.5	942.7	939.2
10	862.2	11.6	821.4	817.4
11	800.2	11.7	757.2	752.9
12	753.7	12.3	707.0	702.3

Tabela 59 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	766.4	5.7	746.7	745.0
2	853.3	6.1	831.1	828.9
3	952.7	7.5	924.6	921.7
4	1106.2	14.1	1053.2	1047.5
5	1144.4	13.6	1093.7	1088.5
6	1135.2	12.8	1087.0	1081.9
7	1004.0	6.4	980.8	978.3
8	905.7	4.9	887.9	886.0
9	813.0	6.0	790.6	788.4
10	698.2	11.1	662.0	658.9
11	672.6	10.5	637.7	634.7
12	676.8	9.9	643.2	640.2

Tabela 60 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1051.5	39.0	931.9	922.9
2	1210.9	50.0	1050.6	1037.8
3	1323.1	56.7	1142.2	1127.7
4	1304.3	56.3	1127.6	1113.7
5	1180.4	49.5	1026.1	1014.3
6	1019.3	38.1	904.3	895.8
7	741.7	34.4	633.3	624.1
8	642.1	35.5	524.3	513.9
9	585.3	35.0	467.3	456.5
10	591.7	35.4	471.3	460.0
11	654.8	36.5	533.3	522.6
12	761.4	35.6	649.8	640.4

Tabela 61 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1292.0	22.3	1206.1	1196.4
2	1344.2	24.7	1249.1	1238.0
3	1308.6	27.1	1204.1	1191.7
4	1065.6	12.2	1020.3	1015.3
5	901.8	10.3	863.6	859.3
6	759.4	9.8	722.1	717.6
7	600.9	14.7	544.5	538.0
8	575.6	15.1	517.5	510.7
9	590.8	16.3	528.7	521.5
10	729.0	8.8	698.7	695.6
11	862.8	9.2	830.2	826.6
12	1022.7	13.7	974.3	968.9

Tabela 62 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1120.0	20.5	1052.5	1046.3
2	1050.1	17.8	988.7	982.5
3	955.2	15.3	898.8	892.2
4	784.0	14.7	727.4	720.7
5	719.0	13.8	665.5	659.3
6	681.5	13.8	627.5	621.4
7	690.1	14.1	635.6	629.5
8	737.1	14.2	682.3	676.1
9	810.7	15.3	752.0	745.1
10	985.1	15.7	928.0	921.4
11	1072.9	18.0	1011.3	1005.2
12	1131.9	20.5	1064.6	1058.6

Tabela 63 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Cabo de Aço (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	953.6	17.0	890.0	881.7
2	852.5	12.6	805.3	799.3
3	763.6	11.9	719.6	714.2
4	670.2	22.3	578.3	565.6
5	665.7	20.2	583.9	572.9
6	691.0	18.9	615.8	606.2
7	811.3	15.4	742.4	731.2
8	907.3	14.0	846.6	837.4
9	1010.5	15.0	950.0	941.8
10	1145.9	28.1	1052.6	1043.3
11	1157.1	24.9	1077.5	1070.4
12	1119.5	22.1	1048.1	1041.5

Tabela 64 – Resumo de trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros

Linha	Cabo de Aço	
	Tração Mínima (kN)	Condição da Tração Mínima
1	486.9	NE
2	452.0	NE
3	454.1	NE
4	538.5	N
5	572.9	NW
6	606.2	NW
7	538.0	SW
8	510.7	SW
9	456.5	S
10	460.0	S
11	522.6	S
12	610.7	NE

5.2.4 Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis

Abaixo estão representadas as curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis de movimento da unidade flutuante e tração máxima nas linhas de ancoragem:

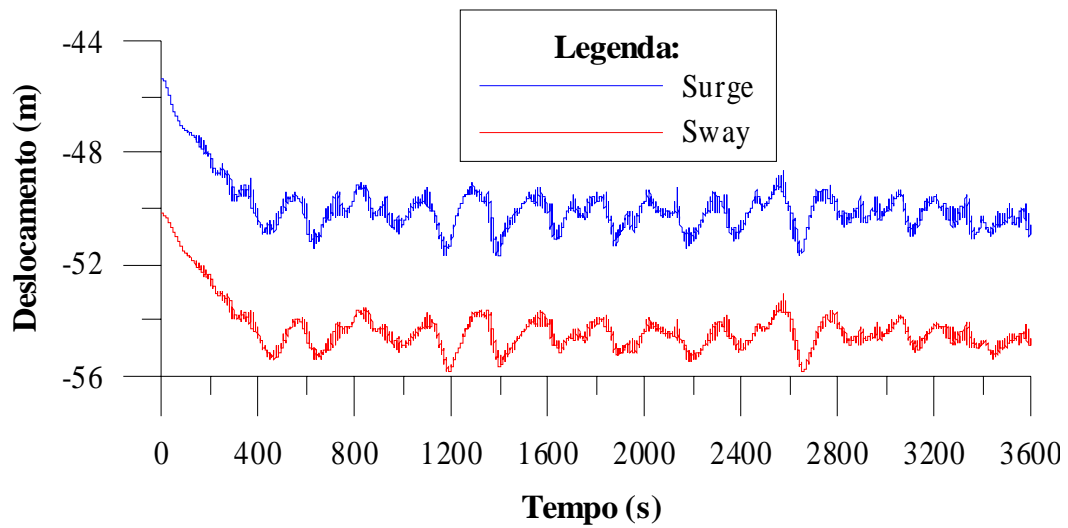


Gráfico 3 – Movimentos de Surge e Sway da unidade flutuante com carregamento centenário atuando na direção Sudoeste para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros

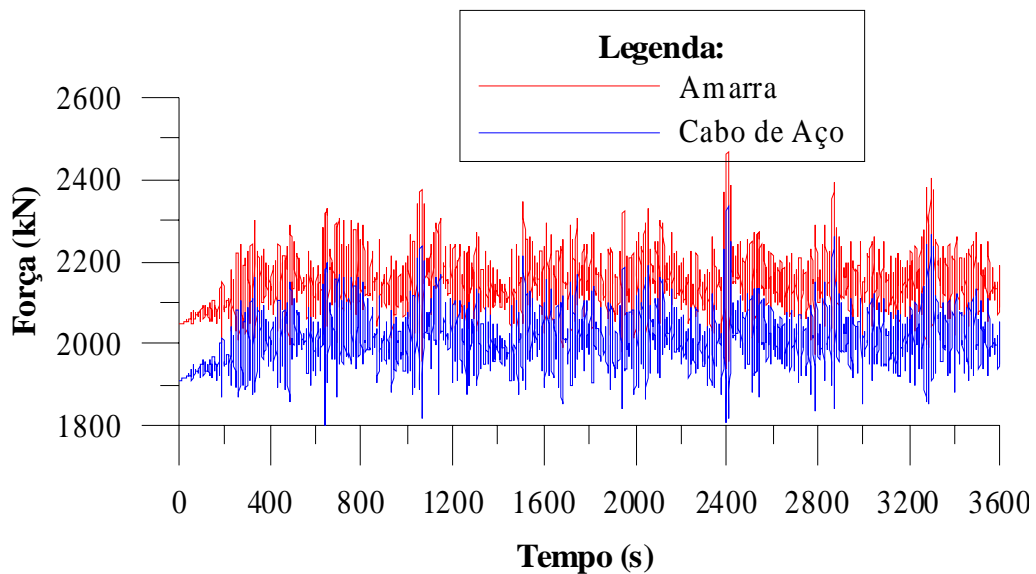


Gráfico 4 – Trações máximas na linha de ancoragem 08 com carregamento centenário atuando na direção Nordeste para o sistema em catenária convencional com profundidade de 1200 metros

6 RESULTADOS PARA A PROFUNDIDADE DE 3000 METROS

6.1 Sistema em catenária “taut-leg”

6.1.1 Estatística de Máximos de Movimento

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos:

Tabela 65 – Passeios máximos da unidade flutuante para as diversas condições de carregamento aplicadas para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros

Condição	Movimento	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
N	Offset (m)	42.89	0.93278	46.77	47.38
	Surge (m)	0.23	0.00608	0.25	0.25
	Sway (m)	42.89	0.93281	46.77	47.38
NE	Offset (m)	43.83	1.15923	48.74	49.54
	Surge (m)	28.02	0.92246	31.86	32.47
	Sway (m)	33.70	0.75470	36.93	37.47
E	Offset (m)	23.49	0.27463	24.45	24.57
	Surge (m)	14.89	0.39699	16.31	16.51
	Sway (m)	18.16	0.06110	18.37	18.42
SE	Offset (m)	12.35	0.30346	13.51	13.68
	Surge (m)	12.17	0.27203	13.20	13.35
	Sway (m)	-2.12	0.23898	-2.97	-3.10
S	Offset (m)	14.49	0.38724	16.02	16.22
	Surge (m)	-8.47	0.03505	-8.56	-8.57
	Sway (m)	-11.75	0.48662	-13.64	-13.87
SW	Offset (m)	23.57	0.59346	25.66	25.94
	Surge (m)	-21.22	0.47195	-23.00	-23.27
	Sway (m)	-10.26	0.44110	-11.64	-11.80
W	Offset (m)	21.53	0.62710	23.88	24.23
	Surge (m)	-19.68	0.68134	-22.24	-22.63
	Sway (m)	8.72	0.03842	8.84	8.86
NW	Offset (m)	25.72	0.86032	28.94	29.41
	Surge (m)	-13.61	0.72146	-16.38	-16.79
	Sway (m)	21.82	0.59884	23.90	24.19

*DP – desvio padrão

Tabela 66 – Resumo dos movimentos máximos para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros

Movimento	Máximo Absoluto	Condição do valor máximo	% LDA
Offset (m)	49.54	NE	1.65
Surge (m)	32.47	NE	1.08
Sway (m)	47.38	N	1.58

Como se pôde ver, o passeio da unidade flutuante esteve bem abaixo do máximo estabelecido para offset reduzido (5% da lâmina d'água).

6.1.2 Estatística de Trações Máximas

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos (DP – desvio padrão):

Tabela 67 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1785.5	36.8	1910.3	1924.6	1986.6	35.4	2106.7	2120.6
2	1442.5	38.3	1563.9	1577.1	1644.0	37.0	1763.1	1776.6
3	1221.7	40.3	1348.2	1362.0	1424.3	38.9	1549.0	1563.2
4	1225.6	40.5	1352.5	1366.3	1428.2	39.1	1553.1	1567.3
5	1452.4	38.4	1573.5	1586.7	1653.9	37.0	1772.9	1786.2
6	1797.5	36.5	1921.1	1935.2	1998.6	35.2	2117.8	2131.6
7	2404.1	30.9	2518.6	2533.4	2606.3	29.8	2716.5	2730.4
8	2748.0	35.3	2884.4	2902.6	2949.7	34.1	3081.0	3098.3
9	2978.9	41.3	3137.7	3159.2	3179.8	39.9	3339.0	3361.2
10	2977.3	41.5	3136.9	3158.4	3178.1	40.1	3334.9	3356.2
11	2742.7	35.5	2879.6	2897.8	2944.3	34.2	3076.1	3093.5
12	2395.7	30.9	2509.8	2524.5	2597.8	29.8	2707.9	2721.9

Tabela 68 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1345.7	48.9	1492.7	1509.7	1548.6	48.0	1694.0	1711.0
2	1209.8	50.5	1360.6	1377.9	1412.9	49.4	1561.5	1578.8
3	1226.3	52.2	1382.5	1400.2	1428.9	50.9	1582.7	1600.5
4	1562.6	35.2	1673.6	1685.4	1764.0	34.3	1872.4	1884.0
5	1974.0	34.7	2100.3	2116.8	2174.7	33.6	2297.2	2313.3
6	2408.0	42.6	2577.8	2602.8	2608.4	40.9	2772.3	2796.7
7	2912.3	48.3	3112.6	3145.0	3112.9	46.8	3305.1	3337.1
8	3028.5	50.5	3234.8	3268.0	3228.9	48.8	3428.0	3460.1
9	2971.7	47.8	3163.8	3193.4	3172.6	46.2	3358.1	3386.8
10	2600.8	40.0	2764.7	2790.1	2802.9	38.6	2961.5	2986.4
11	2196.6	34.9	2323.1	2340.0	2399.6	33.8	2522.8	2539.3
12	1795.6	41.3	1922.7	1936.2	1999.0	40.1	2122.6	2135.8

Tabela 69 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1675.9	30.6	1768.9	1777.4	1876.6	30.4	1969.1	1977.6
2	1588.8	27.3	1669.4	1677.0	1788.7	27.1	1868.5	1875.9
3	1601.9	24.1	1675.8	1683.5	1801.5	23.9	1874.3	1881.7
4	1779.2	24.6	1854.7	1861.9	1978.9	24.5	2054.2	2061.4
5	2019.1	26.9	2106.5	2115.9	2218.7	26.8	2305.4	2314.7
6	2262.7	31.1	2372.8	2384.0	2462.9	31.0	2572.9	2584.1
7	2516.2	31.3	2636.0	2650.1	2718.6	31.2	2838.3	2852.5
8	2572.9	28.3	2677.3	2690.7	2775.9	28.2	2879.2	2892.5
9	2539.9	26.1	2629.5	2639.1	2743.4	26.0	2832.6	2842.2
10	2369.6	23.0	2441.3	2448.1	2573.4	22.8	2644.5	2651.3
11	2161.1	25.5	2236.3	2243.2	2365.0	25.3	2439.4	2446.1
12	1945.6	28.6	2033.6	2041.6	2149.1	28.4	2236.8	2244.7

Tabela 70 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1832.3	10.5	1869.2	1874.6	2033.6	10.3	2070.1	2075.5
2	1905.3	8.9	1947.1	1954.8	2105.7	8.8	2147.0	2154.6
3	2017.2	10.9	2065.8	2073.4	2217.0	10.8	2265.7	2273.4
4	2160.9	24.6	2251.7	2263.0	2360.4	24.4	2451.7	2463.1
5	2263.4	25.8	2367.8	2380.8	2463.0	25.7	2567.2	2580.2
6	2325.7	24.5	2424.1	2437.5	2526.0	24.3	2624.4	2637.8
7	2306.9	11.2	2357.6	2365.6	2509.6	11.0	2559.7	2567.7
8	2222.9	8.7	2254.7	2259.1	2426.6	8.6	2458.3	2462.8
9	2112.5	9.7	2139.5	2141.9	2317.0	9.6	2343.8	2346.2
10	1985.4	21.1	2049.9	2057.0	2190.3	20.9	2253.9	2260.9
11	1900.4	21.9	1966.9	1973.6	2105.1	21.8	2171.3	2178.0
12	1844.3	20.6	1906.3	1913.4	2048.2	20.4	2109.9	2116.9

Tabela 71 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2311.7	23.0	2404.1	2415.5	2512.1	22.6	2602.4	2613.4
2	2351.4	26.8	2457.4	2469.5	2550.8	26.5	2655.0	2666.8
3	2342.4	30.0	2459.9	2472.3	2541.3	29.7	2657.7	2669.9
4	2232.3	30.4	2353.1	2365.9	2431.1	30.0	2551.5	2564.3
5	2105.2	27.1	2216.1	2229.0	2304.6	26.7	2414.1	2426.9
6	1982.2	23.1	2083.5	2097.2	2182.7	22.6	2281.9	2295.4
7	1869.3	18.2	1942.2	1950.9	2072.9	17.5	2143.6	2152.0
8	1828.7	21.6	1908.0	1916.5	2033.8	21.0	2111.0	2119.2
9	1828.7	25.0	1911.9	1920.0	2034.5	24.4	2116.3	2124.1
10	1923.8	24.1	1999.5	2006.2	2129.6	23.5	2203.4	2209.8
11	2045.3	21.0	2114.3	2120.8	2250.2	20.4	2317.8	2324.0
12	2174.4	17.2	2236.2	2242.6	2377.9	16.5	2438.1	2444.3

Tabela 72 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2576.9	39.4	2724.8	2745.6	2776.2	39.2	2923.4	2943.9
2	2531.0	40.4	2677.6	2696.8	2729.5	40.2	2874.8	2893.5
3	2399.9	39.5	2540.5	2558.6	2598.5	39.2	2739.5	2757.9
4	2130.2	19.6	2211.2	2221.9	2329.3	19.3	2408.9	2419.4
5	1906.2	15.9	1970.0	1979.3	2106.2	15.6	2169.8	2179.3
6	1735.9	18.8	1801.4	1810.2	1937.4	18.4	2000.8	2009.4
7	1646.5	34.1	1749.9	1761.8	1851.7	33.8	1953.3	1964.9
8	1682.7	35.7	1790.2	1802.4	1889.0	35.4	2002.1	2016.1
9	1782.5	35.4	1888.8	1900.1	1988.8	35.0	2092.9	2103.9
10	2018.4	16.7	2065.5	2069.8	2223.7	16.5	2269.9	2274.1
11	2236.5	15.3	2295.6	2304.5	2440.4	15.0	2498.0	2506.5
12	2428.2	19.6	2516.1	2529.9	2630.4	19.2	2717.2	2730.9

Tabela 73 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2414.8	37.9	2549.2	2565.1	2613.7	37.6	2748.0	2764.0
2	2218.3	34.0	2336.1	2349.0	2417.2	33.7	2533.9	2546.7
3	1994.5	29.6	2094.7	2107.1	2194.0	29.3	2292.1	2303.8
4	1745.7	29.2	1845.4	1858.8	1946.7	28.7	2043.2	2056.0
5	1651.6	33.1	1753.4	1764.2	1853.5	32.7	1953.3	1963.8
6	1650.5	36.9	1758.7	1769.9	1853.6	36.5	1960.7	1971.7
7	1792.2	35.3	1890.6	1899.5	1997.7	35.0	2095.5	2104.4
8	1954.6	31.9	2047.5	2056.0	2160.0	31.5	2252.1	2260.5
9	2145.4	27.7	2232.5	2242.6	2349.9	27.2	2434.5	2444.1
10	2388.2	30.9	2487.5	2498.6	2591.2	30.6	2691.9	2703.6
11	2506.2	35.6	2631.1	2644.7	2708.2	35.3	2831.8	2845.2
12	2544.4	38.8	2681.0	2697.3	2745.2	38.5	2881.7	2897.9

Tabela 74 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2199.5	28.5	2308.4	2323.0	2399.6	27.5	2503.3	2517.0
2	1932.5	23.4	2019.6	2030.4	2132.9	22.6	2217.1	2227.8
3	1693.1	25.7	1788.2	1801.6	1894.5	25.1	1987.2	2000.3
4	1525.1	44.1	1672.5	1690.1	1727.5	43.3	1870.7	1887.6
5	1547.9	44.1	1685.7	1700.9	1750.5	43.4	1884.6	1899.3
6	1670.5	42.3	1802.0	1816.6	1873.4	41.6	2002.1	2016.3
7	1972.1	27.3	2053.9	2062.6	2176.1	26.6	2255.5	2263.9
8	2218.9	21.0	2289.9	2298.6	2422.4	20.3	2490.8	2499.5
9	2449.4	25.8	2548.3	2562.4	2652.0	25.1	2747.8	2761.4
10	2622.6	46.0	2796.3	2822.4	2824.1	45.3	2995.8	3021.5
11	2623.6	47.1	2804.0	2830.5	2824.9	46.5	3007.3	3033.9
12	2523.1	45.8	2706.6	2734.0	2724.1	45.2	2905.2	2931.3

A verificação de trações máximas nas linhas de ancoragem será feita com um coeficiente de segurança normalizado igual a:

$$FS_{norm} = \frac{Mbl}{F_s \times T_{max}}$$

O fator de segurança F_s é retirado da tabela 18.

Com isso, a linha de ancoragem satisfaz a verificação para fatores de segurança normalizados maiores que 1.

Tabela 75 – Resumo de trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros

Linha	Cabo de Aço			Amarra		
	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado
1	2745.6	SW	1.81	2943.9	SW	1.69
2	2696.8	SW	1.85	2893.5	SW	1.72
3	2558.6	SW	1.95	2757.9	SW	1.81
4	2365.9	S	2.10	2564.3	S	1.94
5	2380.8	SE	2.09	2580.2	SE	1.93
6	2602.8	NE	1.91	2796.7	NE	1.78
7	3145.0	NE	1.58	3337.1	NE	1.49
8	3268.0	NE	1.52	3460.1	NE	1.44
9	3193.4	NE	1.56	3386.8	NE	1.47
10	3158.4	N	1.58	3356.2	N	1.48
11	2897.8	N	1.72	3093.5	N	1.61
12	2734.0	NW	1.82	2931.3	NW	1.70

6.1.3 Estatística de Trações Mínimas

Aplicando as condições anuais descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos (DP – desvio padrão):

Tabela 76 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1763.0	31.4	1639.1	1623.6
2	1581.2	33.1	1449.1	1431.4
3	1463.0	37.5	1309.8	1291.3
4	1464.4	37.6	1310.1	1291.4
5	1585.5	33.2	1453.1	1435.5
6	1769.0	31.2	1645.8	1630.4
7	2082.7	27.7	1988.7	1979.3
8	2260.7	29.5	2162.4	2152.1
9	2378.6	34.5	2264.7	2253.7
10	2377.6	34.7	2262.8	2251.8
11	2257.6	29.6	2159.1	2148.9
12	2077.8	27.6	1984.4	1975.1

Tabela 77 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1465.2	45.1	1268.6	1237.9
2	1385.4	48.3	1173.6	1140.4
3	1403.7	49.8	1188.3	1155.5
4	1603.2	31.6	1469.4	1448.0
5	1850.8	30.9	1737.3	1722.3
6	2112.1	36.9	1991.6	1978.2
7	2408.3	41.6	2270.3	2251.6
8	2479.2	44.0	2329.7	2309.1
9	2446.6	43.7	2293.9	2273.7
10	2239.0	33.4	2131.0	2119.3
11	1992.6	30.6	1873.2	1857.0
12	1741.2	36.7	1581.6	1557.1

Tabela 78 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1742.3	28.2	1630.3	1616.2
2	1700.3	25.3	1605.4	1593.0
3	1700.8	21.8	1623.5	1614.5
4	1765.1	23.0	1693.8	1686.4
5	1865.3	26.0	1788.9	1781.4
6	1973.4	28.8	1890.2	1882.8
7	2096.4	28.8	2012.4	2004.7
8	2131.4	26.4	2054.3	2046.6
9	2126.6	23.3	2052.5	2044.5
10	2063.9	21.7	1990.6	1982.5
11	1971.3	24.9	1879.2	1867.7
12	1869.9	27.5	1762.5	1749.2

Tabela 79 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1761.9	8.0	1730.2	1726.0
2	1821.4	6.5	1800.8	1798.6
3	1902.0	8.1	1876.8	1874.4
4	1998.4	20.8	1928.3	1920.3
5	2059.9	22.1	1987.9	1981.0
6	2093.0	20.5	2027.8	2020.7
7	2068.1	8.6	2043.1	2040.7
8	2004.9	6.5	1982.3	1979.5
9	1925.2	7.5	1895.6	1892.1
10	1834.9	18.5	1753.2	1740.7
11	1779.5	19.6	1689.5	1676.5
12	1748.2	18.2	1665.7	1652.7

Tabela 80 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2056.2	24.3	1972.0	1962.7
2	2090.0	28.0	1997.5	1987.3
3	2094.0	31.4	1994.6	1984.7
4	2035.3	31.9	1936.1	1926.5
5	1957.8	28.2	1868.6	1859.4
6	1877.4	24.5	1795.7	1787.1
7	1793.5	21.7	1710.3	1701.0
8	1760.1	25.6	1660.4	1649.0
9	1753.7	29.5	1631.2	1617.1
10	1806.8	28.7	1686.2	1672.4
11	1881.9	25.0	1782.6	1771.2
12	1963.9	21.0	1881.0	1871.8

Tabela 81 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2165.7	41.0	2040.0	2025.4
2	2137.3	42.1	2008.0	1992.5
3	2068.7	41.5	1937.9	1922.1
4	1935.7	16.8	1887.5	1883.1
5	1824.2	13.6	1782.0	1777.2
6	1737.7	16.7	1681.2	1674.4
7	1692.5	36.6	1540.0	1517.9
8	1717.1	38.1	1562.9	1539.8
9	1775.9	37.8	1625.6	1603.7
10	1900.6	15.3	1846.6	1840.4
11	2010.5	13.9	1964.5	1958.6
12	2103.1	18.2	2050.7	2045.1

Tabela 82 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2071.8	29.4	1980.1	1970.2
2	1967.1	26.4	1880.0	1870.5
3	1853.9	23.1	1782.8	1774.9
4	1734.1	21.9	1656.5	1646.1
5	1690.1	25.3	1591.7	1578.4
6	1692.9	28.2	1577.5	1561.1
7	1777.7	27.9	1665.8	1650.5
8	1872.4	25.2	1773.9	1760.4
9	1975.7	21.8	1896.6	1886.3
10	2093.8	23.2	2014.0	2003.6
11	2144.6	26.6	2055.6	2045.7
12	2152.6	29.3	2060.7	2050.9

Tabela 83 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1971.7	22.0	1902.8	1896.0
2	1826.7	18.2	1765.0	1757.8
3	1699.6	19.5	1633.4	1625.0
4	1613.1	34.1	1470.5	1447.5
5	1627.4	33.9	1478.5	1453.2
6	1697.5	32.2	1556.4	1531.9
7	1871.3	21.8	1781.9	1768.1
8	2009.3	17.2	1946.4	1938.5
9	2132.9	18.9	2073.3	2067.2
10	2218.5	34.1	2109.1	2095.7
11	2212.4	34.3	2107.5	2095.9
12	2151.5	33.0	2051.7	2040.2

A verificação de trações mínimas nas linhas de ancoragem será feita com um coeficiente de segurança normalizado igual a:

$$FS_{norm} = \frac{T_{min}}{Mbl \times F_s}$$

O fator de segurança F_s é de 5%.

Com isso, a linha de ancoragem satisfaz a verificação para fatores de segurança normalizados maiores que 1.

Tabela 84 – Resumo de trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros

Linha	Poliéster		
	Tração Mínima (kN)	Condição da Tração Mínima	Fator de Segurança Normalizado
1	1237.9	NE	2.80
2	1140.4	NE	2.58
3	1155.5	NE	2.62
4	1291.4	N	2.93
5	1435.5	N	3.25
6	1531.9	NW	3.47
7	1517.9	SW	3.44
8	1539.8	SW	3.49
9	1603.7	SW	3.63
10	1672.4	S	3.79
11	1676.5	SE	3.80
12	1557.1	NE	3.53

6.1.4 Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis

Abaixo estão representadas as curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis de movimento da unidade flutuante e tração máxima nas linhas de ancoragem:

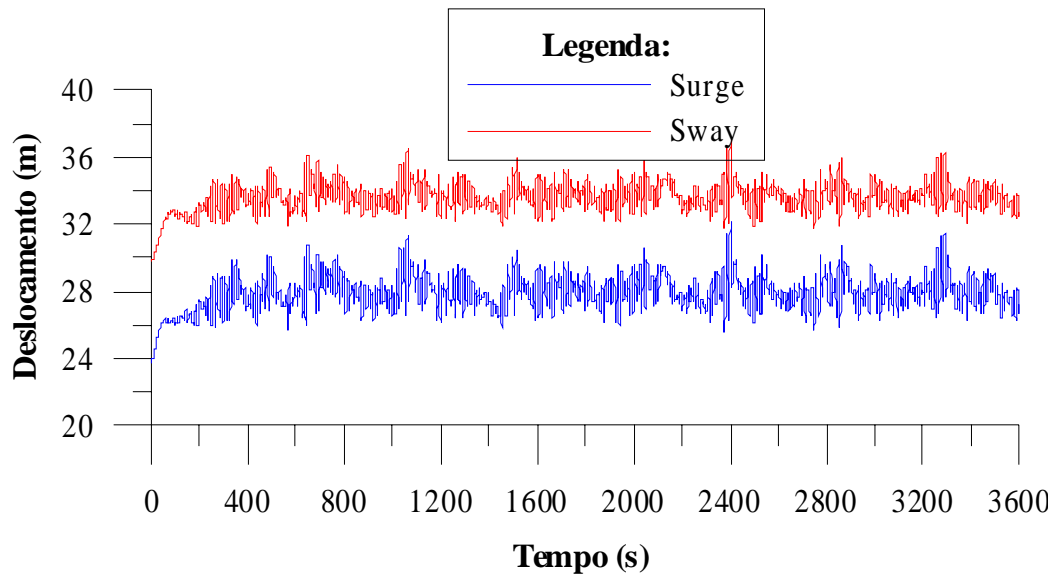


Gráfico 5 – Movimentos de Surge e Sway da unidade flutuante com carregamento centenário atuando na direção Nordeste para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros

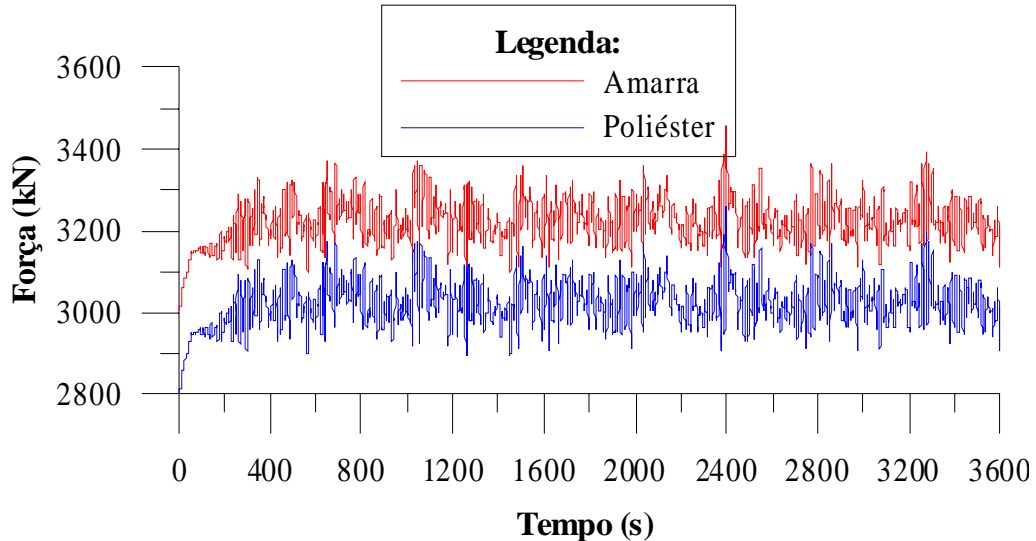


Gráfico 6 – Trações máximas na linha de ancoragem 08 com carregamento centenário atuando na direção Nordeste para o sistema em catenária “taut-leg” com profundidade de 3000 metros

6.2 Sistema em catenária convencional

6.2.1 Estatística de Máximos de Movimento

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos:

Tabela 85 – Passeios máximos da unidade flutuante para as diversas condições de carregamento aplicadas para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros

Condição	Movimento	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
N	Offset (m)	81.44	1.11908	85.60	86.20
	Surge (m)	0.47	0.00778	0.49	0.49
	Sway (m)	81.44	1.11913	85.60	86.20
NE	Offset (m)	83.00	1.31826	88.15	88.96
	Surge (m)	51.73	1.09796	55.91	56.54
	Sway (m)	64.91	0.83361	68.22	68.76
E	Offset (m)	45.87	0.25754	46.71	46.81
	Surge (m)	28.31	0.45128	29.68	29.83
	Sway (m)	36.09	0.05435	36.23	36.25
SE	Offset (m)	23.73	0.31207	24.78	24.92
	Surge (m)	23.68	0.29673	24.67	24.80
	Sway (m)	-1.54	0.28434	-2.41	-2.52
S	Offset (m)	24.80	0.47256	26.35	26.52
	Surge (m)	-15.47	0.04866	-15.56	-15.57
	Sway (m)	-19.38	0.62811	-21.40	-21.62
SW	Offset (m)	42.46	0.72227	44.51	44.71
	Surge (m)	-38.93	0.55318	-40.69	-40.90
	Sway (m)	-16.94	0.59455	-18.36	-18.45
W	Offset (m)	40.83	0.74677	43.31	43.64
	Surge (m)	-36.40	0.86143	-39.18	-39.54
	Sway (m)	18.49	0.07769	18.66	18.68
NW	Offset (m)	49.99	1.05262	53.36	53.76
	Surge (m)	-25.47	0.91901	-28.67	-29.13
	Sway (m)	43.01	0.71386	45.08	45.28

*DP – desvio padrão

Tabela 86 – Resumo dos movimentos máximos para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros

Movimento	Máximo Absoluto	Condição do valor máximo	% LDA
Offset (m)	88.96	NE	2.97
Surge (m)	56.54	NE	1.88
Sway (m)	86.20	N	2.87

Como se pôde ver, o passeio da unidade flutuante esteve abaixo do máximo estabelecido para offset reduzido (5% da lâmina d'água).

6.2.2 Estatística de Trações Máximas

Aplicando as condições extremas descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos (DP – desvio padrão):

Tabela 87 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2223.7	31.3	2322.6	2332.4	2405.8	30.4	2501.2	2510.5
2	1958.4	34.0	2066.8	2078.0	2141.7	33.0	2248.1	2259.2
3	1788.4	35.8	1898.5	1909.5	1973.3	34.7	2080.4	2091.1
4	1791.9	36.0	1902.6	1913.8	1976.8	34.9	2084.7	2095.6
5	1966.7	34.0	2075.0	2086.2	2150.0	33.1	2256.4	2267.3
6	2235.3	31.0	2333.4	2343.1	2417.4	30.1	2512.0	2521.1
7	2838.0	26.6	2935.4	2947.3	3018.6	26.1	3114.1	3125.8
8	3115.5	31.1	3231.4	3244.8	3294.7	30.5	3408.3	3421.2
9	3302.3	35.6	3442.1	3460.3	3479.9	34.6	3615.2	3632.5
10	3299.3	35.8	3442.3	3461.3	3477.0	34.8	3613.4	3630.8
11	3108.8	31.2	3225.3	3238.8	3288.0	30.6	3401.8	3414.8
12	2828.0	26.5	2924.8	2936.6	3008.6	26.0	3103.9	3115.4

Tabela 88 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	1866.5	35.5	1965.7	1974.4	2051.3	34.2	2146.6	2155.0
2	1749.2	38.3	1853.6	1862.5	1934.7	36.9	2034.5	2043.1
3	1755.8	40.3	1865.9	1875.4	1941.0	38.9	2046.3	2055.3
4	2092.8	30.2	2182.0	2190.6	2275.4	29.4	2362.2	2370.6
5	2403.6	28.5	2498.8	2509.7	2584.6	27.9	2677.7	2688.3
6	2745.9	34.3	2872.4	2889.1	2925.4	33.2	3048.3	3064.7
7	3264.1	36.9	3419.1	3444.3	3441.5	35.6	3592.2	3617.3
8	3373.5	41.4	3541.1	3564.5	3550.3	39.9	3712.5	3734.9
9	3341.8	39.6	3501.8	3526.3	3519.1	38.2	3674.1	3697.8
10	2953.0	32.2	3077.8	3095.6	3133.3	31.3	3255.6	3273.0
11	2640.1	28.5	2735.0	2746.0	2822.2	27.9	2915.4	2926.3
12	2324.8	34.6	2427.1	2437.1	2508.0	33.4	2606.9	2616.5

Tabela 89 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2126.1	9.5	2156.8	2159.6	2308.4	9.4	2338.9	2341.7
2	2059.2	9.0	2089.8	2092.7	2241.1	8.9	2271.4	2274.2
3	2067.1	8.3	2095.6	2098.5	2248.9	8.0	2276.4	2279.2
4	2269.0	7.6	2298.5	2302.0	2449.7	7.5	2478.2	2481.5
5	2455.8	8.7	2491.7	2495.6	2635.6	8.7	2671.7	2675.5
6	2652.2	9.5	2689.0	2693.0	2831.8	9.6	2868.7	2872.6
7	2928.0	9.6	2966.7	2971.2	3108.4	9.6	3146.7	3151.1
8	2983.8	8.8	3022.3	3026.7	3164.6	8.9	3203.3	3207.7
9	2967.6	7.6	2995.8	2999.1	3148.7	7.6	3176.5	3179.7
10	2770.5	7.4	2794.9	2797.5	2952.8	7.3	2976.9	2979.4
11	2598.8	8.5	2626.4	2628.9	2781.9	8.5	2809.7	2812.2
12	2413.2	8.9	2441.4	2444.0	2596.6	8.9	2624.8	2627.3

Tabela 90 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2283.3	5.8	2303.8	2305.9	2465.3	5.6	2484.9	2486.8
2	2330.3	4.7	2347.2	2349.1	2511.4	4.5	2527.9	2529.7
3	2406.2	6.3	2429.2	2431.4	2586.7	6.2	2609.1	2611.2
4	2583.9	11.5	2626.5	2630.7	2763.1	11.5	2805.2	2809.3
5	2676.7	10.8	2718.2	2722.5	2855.5	10.8	2896.8	2901.1
6	2740.3	13.2	2787.5	2791.8	2919.4	13.3	2966.5	2970.7
7	2739.1	6.1	2762.8	2765.3	2920.5	6.0	2943.5	2945.9
8	2681.8	4.1	2697.4	2699.2	2864.2	4.0	2879.4	2881.1
9	2602.2	6.2	2623.1	2624.8	2785.4	6.2	2806.0	2807.6
10	2450.5	11.1	2487.0	2490.0	2634.9	11.0	2671.1	2674.0
11	2375.9	9.6	2407.1	2409.8	2560.5	9.5	2591.3	2594.0
12	2314.9	9.4	2345.9	2348.6	2499.0	9.3	2530.1	2532.8

Tabela 91 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2707.7	14.7	2759.5	2764.3	2887.2	14.7	2939.4	2944.3
2	2716.6	19.2	2787.8	2794.6	2895.2	19.4	2968.9	2976.3
3	2700.3	20.6	2767.2	2772.5	2878.6	20.9	2948.7	2954.5
4	2589.5	20.7	2658.7	2664.3	2768.3	21.0	2840.9	2847.2
5	2506.5	20.5	2582.9	2590.1	2685.9	20.7	2764.9	2772.7
6	2434.9	15.1	2490.6	2496.1	2615.4	15.1	2671.7	2677.3
7	2345.5	14.9	2397.9	2402.8	2529.3	14.7	2580.9	2585.7
8	2320.1	21.9	2396.5	2403.1	2505.3	21.9	2583.4	2590.5
9	2323.1	21.5	2395.2	2401.2	2508.7	21.7	2581.0	2586.9
10	2425.6	21.4	2496.3	2502.0	2610.7	21.6	2681.9	2687.6
11	2517.2	20.2	2586.1	2591.9	2701.4	20.3	2772.1	2778.4
12	2607.9	14.0	2654.1	2657.9	2790.6	13.8	2835.9	2839.5

Tabela 92 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2919.2	15.9	2978.6	2985.7	3096.8	15.8	3156.0	3163.0
2	2868.5	22.5	2946.7	2953.4	3045.7	22.5	3123.3	3129.8
3	2767.0	17.1	2828.0	2834.9	2944.7	16.8	3004.7	3011.5
4	2490.6	11.2	2528.2	2531.9	2670.1	10.9	2706.9	2710.6
5	2338.6	9.9	2372.3	2375.8	2519.4	9.5	2552.1	2555.5
6	2229.7	11.7	2268.2	2272.2	2411.9	11.2	2448.7	2452.5
7	2156.9	14.9	2205.1	2209.9	2342.6	14.6	2389.9	2394.7
8	2185.6	17.7	2247.4	2253.5	2372.2	17.5	2433.0	2438.9
9	2264.3	18.0	2326.6	2333.2	2450.6	17.5	2511.2	2517.6
10	2523.4	10.4	2559.7	2563.7	2707.6	10.1	2742.8	2746.7
11	2687.6	8.8	2721.3	2725.4	2870.3	8.6	2903.1	2907.2
12	2824.6	11.1	2869.3	2875.2	3005.4	10.6	3048.7	3054.7

Tabela 93 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2765.9	18.1	2833.9	2840.7	2943.8	18.0	3011.5	3018.3
2	2602.5	14.5	2660.4	2666.4	2781.1	14.3	2838.8	2844.7
3	2434.7	14.0	2487.4	2493.5	2614.7	13.7	2666.9	2673.0
4	2185.5	15.1	2236.5	2241.9	2367.8	14.6	2416.7	2421.9
5	2124.4	15.4	2176.1	2181.0	2307.5	15.1	2358.0	2362.9
6	2135.7	16.7	2187.2	2191.6	2319.7	16.4	2370.0	2374.2
7	2297.5	16.8	2346.9	2350.6	2482.9	16.6	2531.5	2535.1
8	2430.0	15.1	2476.9	2480.9	2615.1	14.8	2660.8	2664.6
9	2579.3	14.4	2631.6	2637.2	2763.0	14.0	2812.5	2817.5
10	2837.7	13.5	2888.9	2894.4	3018.8	13.3	3069.0	3074.4
11	2921.6	14.4	2979.2	2985.1	3101.6	14.2	3159.2	3165.1
12	2938.0	18.5	3007.6	3014.5	3117.0	18.3	3186.2	3193.1

Tabela 94 – Trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Poliéster (kN)				Amarra (kN)			
	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s	Média	DP	Máximo Estatístico 3600s	Máximo Estatístico 10800s
1	2579.8	21.8	2664.4	2676.0	2759.6	20.9	2840.1	2851.0
2	2368.2	18.4	2435.5	2443.5	2549.1	17.8	2614.1	2621.8
3	2188.7	19.9	2254.3	2261.2	2371.0	19.4	2435.0	2441.7
4	2016.6	28.8	2106.4	2115.4	2200.7	28.0	2288.0	2296.8
5	2038.3	27.1	2121.8	2129.6	2222.4	26.5	2304.3	2311.9
6	2140.1	24.3	2215.6	2223.4	2324.0	23.8	2398.4	2406.1
7	2463.3	22.2	2530.6	2536.7	2646.8	21.4	2711.7	2717.7
8	2658.8	17.5	2720.2	2727.2	2841.3	17.0	2901.0	2907.7
9	2836.5	18.9	2910.6	2920.2	3017.5	18.3	3089.5	3098.7
10	3026.5	26.5	3117.0	3126.8	3205.7	25.8	3295.1	3304.8
11	3017.9	29.4	3123.0	3133.2	3197.0	28.9	3300.2	3310.1
12	2926.1	23.5	3015.6	3026.5	3105.3	23.1	3193.3	3204.1

A verificação de trações máximas nas linhas de ancoragem será feita com um coeficiente de segurança normalizado igual a:

$$FS_{norm} = \frac{Mbl}{F_s \times T_{max}}$$

O fator de segurança F_s é retirado da tabela 18.

Com isso, a linha de ancoragem satisfaz a verificação para fatores de segurança normalizados maiores que 1.

Tabela 95 – Resumo de trações máximas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros

Linha	Poliéster			Amarra		
	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado	Tração Máxima (kN)	Condição da Tração Máxima	Fator de Segurança Normalizado
1	2985.7	SW	1.61	3163.0	SW	1.57
2	2953.4	SW	1.63	3129.8	SW	1.59
3	2834.9	SW	1.70	3011.5	SW	1.65
4	2664.3	S	1.80	2847.2	S	1.75
5	2722.5	SE	1.77	2901.1	SE	1.72
6	2889.1	NE	1.66	3064.7	NE	1.62
7	3444.3	NE	1.40	3617.3	NE	1.38
8	3564.5	NE	1.35	3734.9	NE	1.33
9	3526.3	NE	1.36	3697.8	NE	1.35
10	3461.3	N	1.39	3630.8	N	1.37
11	3238.8	N	1.48	3414.8	N	1.46
12	3026.5	NW	1.59	3204.1	NW	1.55

6.2.3 Estatística de Trações Mínimas

Aplicando as condições anuais descritas anteriormente para as oito direções definidas, os seguintes resultados foram obtidos (DP – desvio padrão):

Tabela 96 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Norte

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2210.9	25.9	2116.1	2105.4
2	2069.8	27.4	1967.9	1956.1
3	1979.0	29.1	1869.9	1857.3
4	1980.7	29.3	1870.7	1857.9
5	2073.9	27.5	1971.4	1959.5
6	2216.8	25.8	2122.7	2112.1
7	2535.6	22.9	2460.3	2452.8
8	2678.9	24.3	2596.0	2587.5
9	2773.4	26.6	2679.5	2669.0
10	2771.9	26.9	2677.1	2666.5
11	2675.4	24.4	2592.3	2583.8
12	2530.2	22.8	2455.4	2447.9

Tabela 97 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Nordeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	1962.2	31.4	1824.9	1803.8
2	1896.0	35.1	1742.6	1719.0
3	1905.4	37.1	1747.8	1724.5
4	2113.2	26.8	2007.5	1993.0
5	2299.9	26.2	2206.3	2195.1
6	2503.1	31.8	2398.4	2387.5
7	2808.6	29.8	2710.9	2699.9
8	2874.2	36.5	2748.4	2736.1
9	2857.2	34.1	2745.3	2733.0
10	2631.2	28.2	2541.0	2531.5
11	2442.4	26.4	2347.8	2336.3
12	2246.6	32.2	2121.8	2105.1

Tabela 98 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Leste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2201.3	8.8	2166.6	2162.7
2	2166.2	8.3	2134.4	2131.1
3	2163.9	7.1	2140.2	2137.9
4	2240.8	7.2	2216.2	2213.6
5	2319.1	8.6	2291.5	2289.1
6	2406.3	8.8	2379.7	2377.4
7	2539.0	8.7	2512.9	2510.7
8	2571.1	9.4	2542.1	2539.9
9	2571.6	6.9	2548.3	2545.9
10	2495.1	7.1	2471.0	2468.6
11	2420.1	8.8	2386.8	2383.5
12	2335.8	8.8	2300.9	2297.0

Tabela 99 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2227.8	5.6	2208.4	2206.7
2	2268.7	3.6	2255.8	2254.4
3	2325.3	6.7	2306.4	2305.2
4	2437.6	10.2	2403.5	2400.8
5	2489.2	17.1	2446.5	2444.5
6	2521.8	9.9	2491.6	2489.5
7	2507.5	5.1	2491.1	2489.7
8	2463.5	3.4	2451.8	2450.6
9	2405.8	5.7	2388.8	2387.7
10	2299.5	11.5	2261.9	2259.0
11	2252.7	12.2	2214.4	2211.5
12	2222.1	10.2	2186.5	2183.4

Tabela 100 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sul

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2483.2	15.0	2430.8	2425.3
2	2498.4	27.1	2423.4	2418.9
3	2496.5	19.5	2431.0	2424.6
4	2436.5	19.8	2370.2	2363.8
5	2383.8	27.0	2306.8	2301.8
6	2333.4	15.2	2280.4	2275.0
7	2264.1	15.5	2210.1	2205.0
8	2243.8	25.3	2160.5	2153.8
9	2241.2	20.6	2169.7	2163.4
10	2298.4	20.3	2226.4	2219.9
11	2353.9	27.8	2265.3	2258.7
12	2410.6	15.2	2355.9	2350.6

Tabela 101 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Sudoeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2569.7	14.5	2524.2	2519.6
2	2541.8	16.3	2484.7	2479.2
3	2489.2	16.4	2432.8	2426.5
4	2349.4	9.1	2317.1	2313.7
5	2271.6	8.6	2240.6	2237.2
6	2214.2	10.8	2177.8	2174.0
7	2179.9	13.8	2129.8	2124.2
8	2201.6	16.1	2141.5	2135.3
9	2247.7	16.6	2191.3	2185.5
10	2383.6	9.1	2353.6	2350.6
11	2464.9	8.2	2436.8	2433.6
12	2529.9	10.6	2496.1	2492.9

Tabela 102 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Oeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2480.8	13.0	2437.2	2433.4
2	2396.1	11.0	2358.9	2354.9
3	2311.0	11.3	2270.4	2266.3
4	2187.7	11.9	2142.3	2137.4
5	2158.6	11.7	2115.7	2111.0
6	2166.9	13.7	2114.0	2108.7
7	2264.4	13.8	2210.5	2205.2
8	2341.2	11.7	2298.3	2293.6
9	2421.5	11.6	2378.2	2373.6
10	2547.8	10.8	2510.1	2506.4
11	2582.2	10.8	2546.5	2542.8
12	2580.9	13.0	2537.1	2533.3

Tabela 103 – Trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros e condições aplicadas na direção Noroeste

Linha	Poliéster (kN)			
	Média	DP	Mínimo Estatístico 3600s	Mínimo Estatístico 10800s
1	2392.3	17.7	2332.2	2326.1
2	2277.9	14.6	2227.0	2221.8
3	2181.8	14.9	2127.0	2120.6
4	2091.5	22.7	2002.1	1990.2
5	2105.4	21.0	2020.9	2009.4
6	2163.5	18.4	2090.9	2080.9
7	2350.0	18.2	2279.5	2270.0
8	2459.3	14.1	2407.7	2401.4
9	2554.6	14.5	2504.2	2498.7
10	2649.2	20.5	2573.6	2565.0
11	2639.2	18.9	2573.9	2566.5
12	2584.6	16.8	2525.7	2519.2

A verificação de trações mínimas nas linhas de ancoragem será feita com um coeficiente de segurança normalizado igual a:

$$FS_{norm} = \frac{T_{min}}{Mbl \times F_s}$$

O fator de segurança é de 5%.

Com isso, a linha de ancoragem satisfaz a verificação para fatores de segurança normalizados maiores que 1.

Tabela 104 – Resumo de trações mínimas nas linhas de ancoragem para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros

Linha	Poliéster		
	Tração Mínima (kN)	Condição da Tração Mínima	Fator de Segurança Normalizado
1	1803.8	NE	4.09
2	1719.0	NE	3.89
3	1724.5	NE	3.91
4	1857.9	N	4.21
5	1959.5	N	4.44
6	2080.9	NW	4.71
7	2124.2	SW	4.81
8	2135.3	SW	4.84
9	2163.4	S	4.90
10	2219.9	S	5.03
11	2211.5	SE	5.01
12	2105.1	NE	4.77

6.2.4 Curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis

Abaixo estão representadas as curvas de resposta para os casos mais desfavoráveis de movimento da unidade flutuante e tração máxima nas linhas de ancoragem:

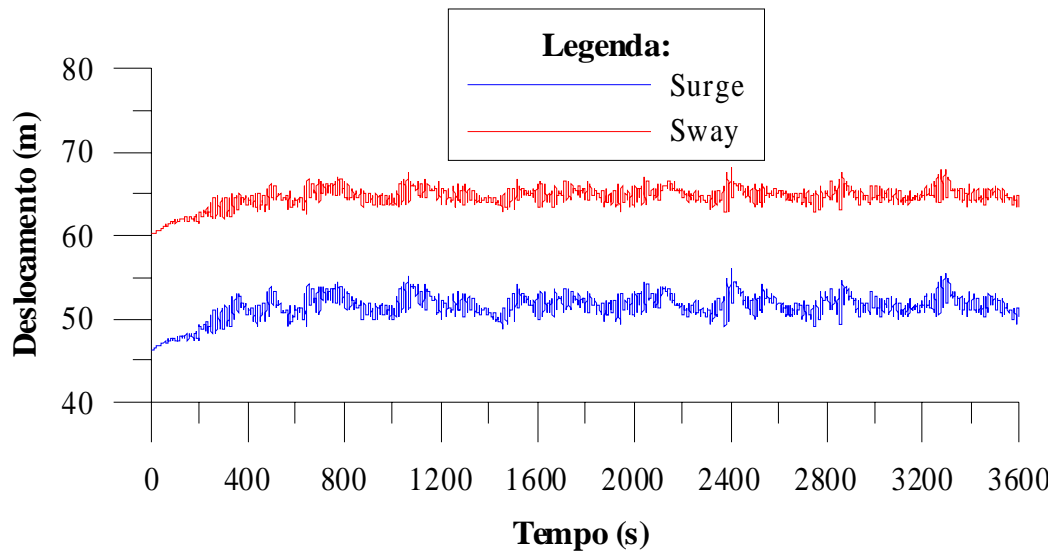


Gráfico 7 – Movimentos de Surge e Sway da unidade flutuante com carregamento centenário atuando na direção Nordeste para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros

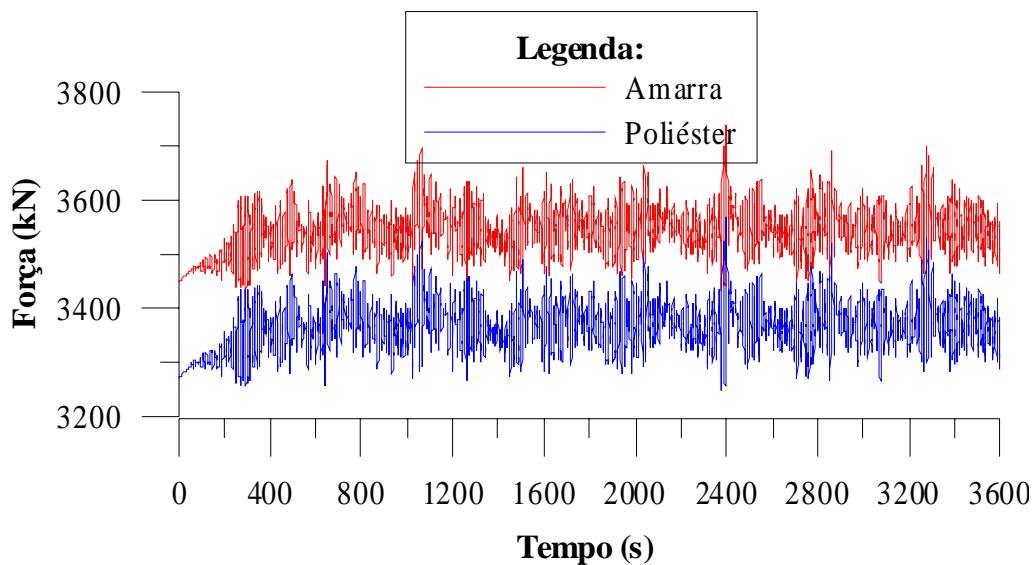


Gráfico 8 – Trações máximas na linha de ancoragem 08 com carregamento centenário atuando na direção Nordeste para o sistema em catenária convencional com profundidade de 3000 metros

7 RESUMO DOS RESULTADOS

Os gráficos abaixo mostram as envoltórias de passeios máximos da unidade flutuante para as profundidades de lâmina d'água avaliadas:

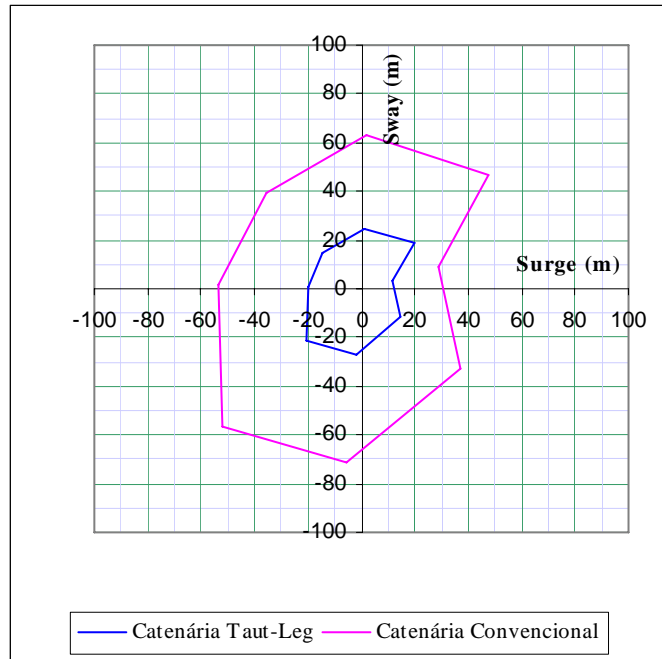


Gráfico 9 – Envoltória de passeios máximos da UF para profundidade de 1200 metros

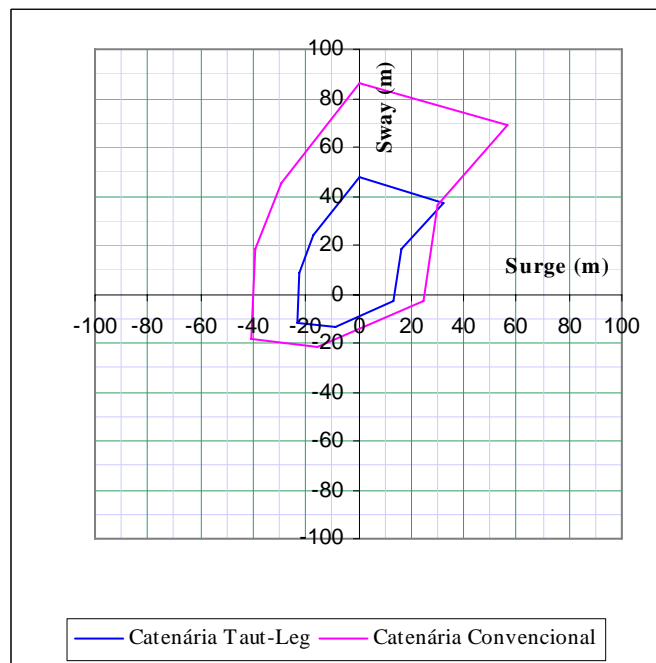


Gráfico 10 – Envoltória de passeios máximos da UF para profundidade de 3000 metros

Os gráficos abaixo mostram as envoltórias de trações máximas no topo das linhas de ancoragem (amarra) para as profundidades de lâmina d'água avaliadas:

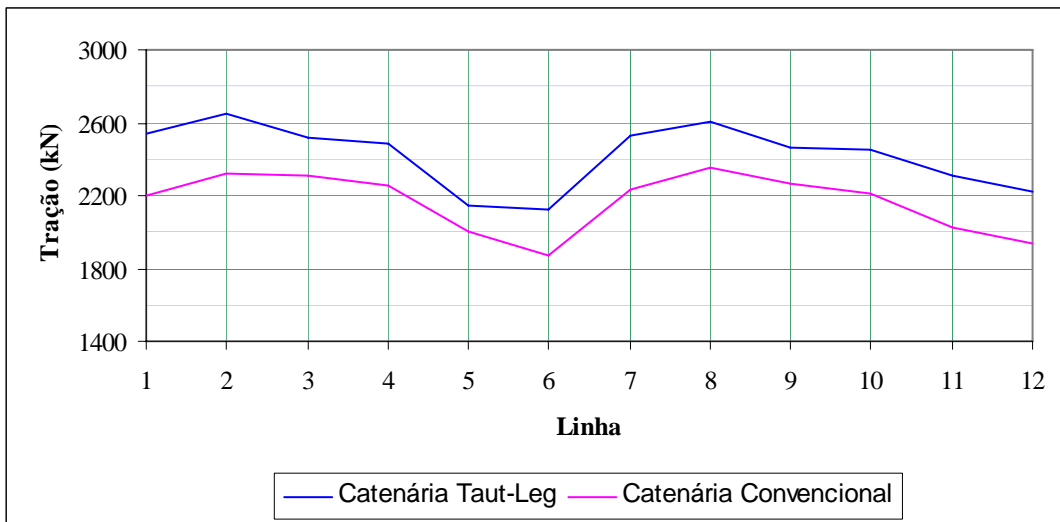


Gráfico 11 – Envoltória de trações máximas no segmento de topo das linhas de ancoragem para a profundidade de 1200 metros

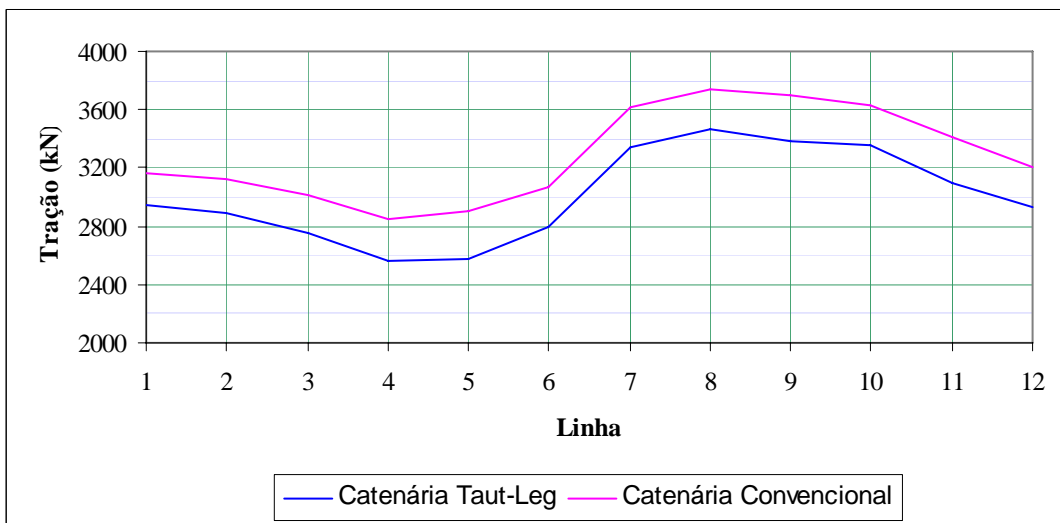


Gráfico 12 – Envoltória de trações máximas no segmento de topo das linhas de ancoragem para a profundidade de 3000 metros

Os gráficos abaixo mostram as envoltórias de trações máximas no segmento intermediário das linhas de ancoragem (poliéster ou cabo de aço) para as profundidades de lâmina d'água avaliadas:

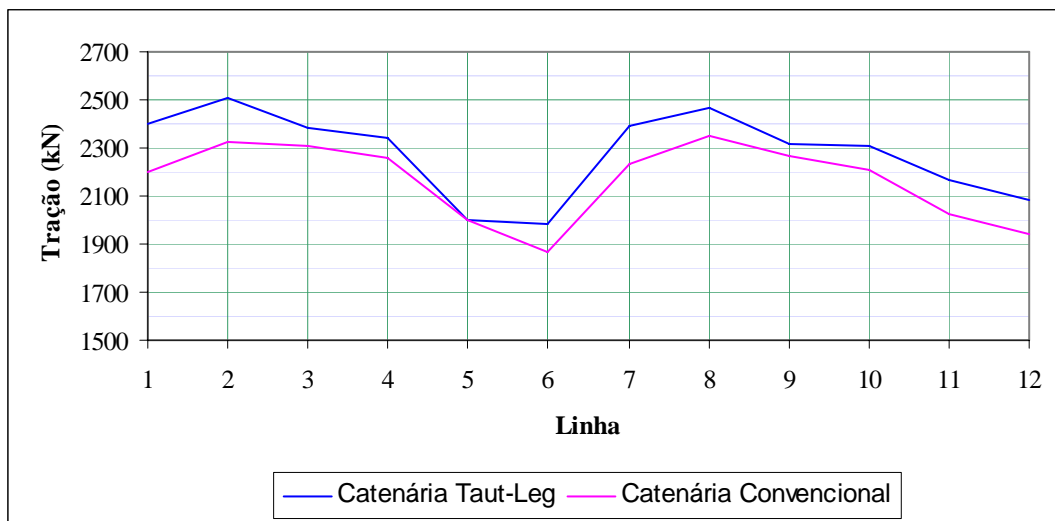


Gráfico 13 – Envoltória de trações máximas no segmento intermediário das linhas de ancoragem para a profundidade de 1200 metros

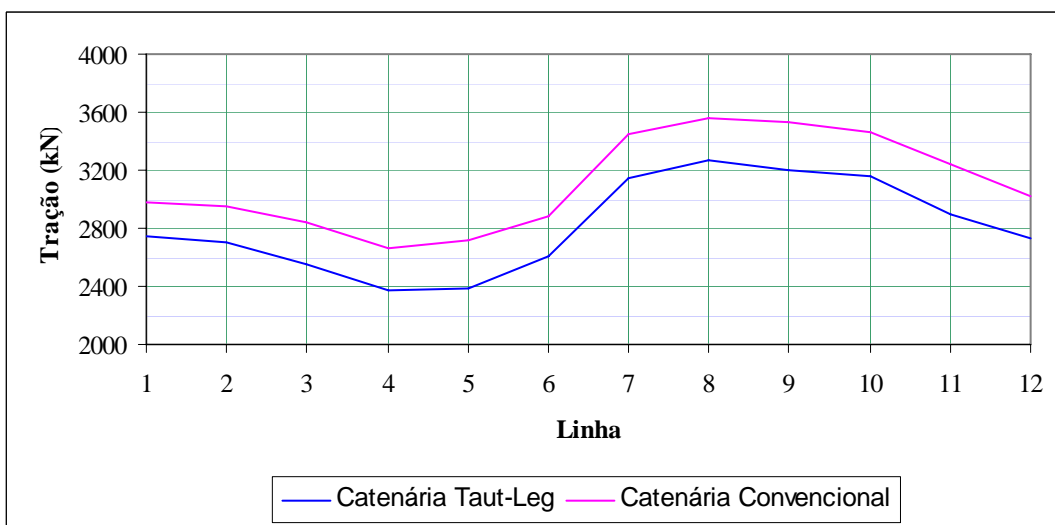


Gráfico 14 – Envoltória de trações máximas no segmento intermediário das linhas de ancoragem para a profundidade de 3000 metros

Os gráficos abaixo mostram as envoltórias de trações mínimas no segmento intermediário das linhas de ancoragem (poliéster ou cabo de aço) para as profundidades de lâmina d'água avaliadas.

Deve-se notar que o critério de trações mínimas não é aplicado ao cabo de aço usado no sistema em catenária convencional de 1200 metros de profundidade. Porém, as trações mínimas ocorridas neste segmento estão relacionadas abaixo apenas para efeito de comparação:

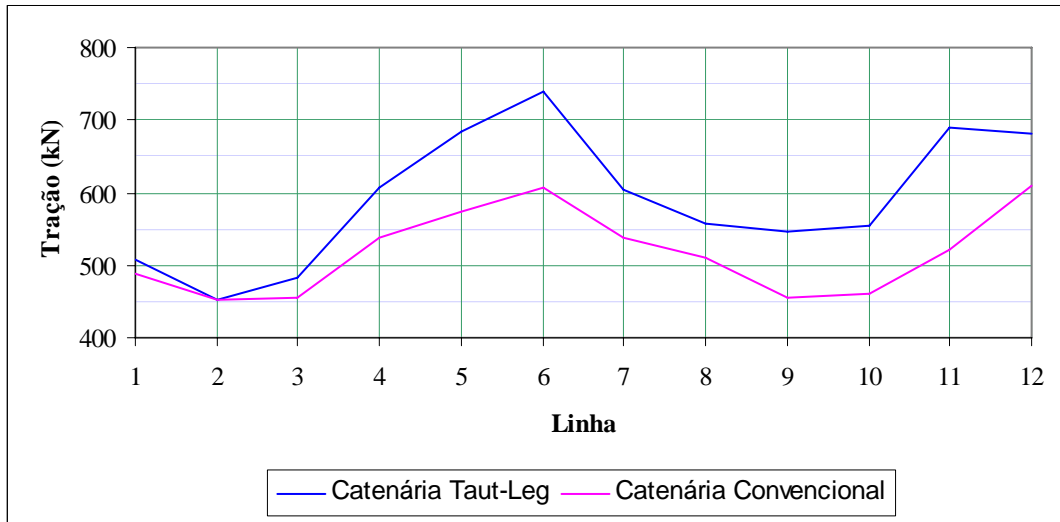


Gráfico 15 – Envoltória de trações mínimas no segmento intermediário das linhas de ancoragem para a profundidade de 1200 metros

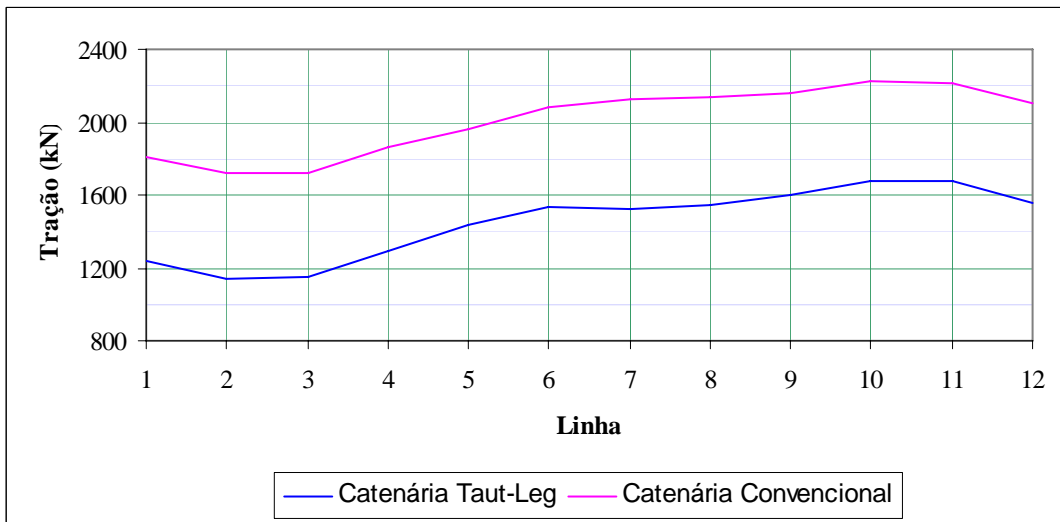


Gráfico 16 – Envoltória de trações mínimas no segmento intermediário das linhas de ancoragem para a profundidade de 3000 metros

8 CONCLUSÕES

- **Comprimento das Linhas**

O sistema em catenária “taut-leg” apresentou uma grande economia nas linhas de ancoragem, pois possui comprimento bem menor em relação ao sistema em catenária convencional.

- **Raio de Interferência**

Como já havia sido mencionado anteriormente e pôde ser comprovado, o sistema em catenária convencional, para que apresente um trecho apoiado no solo marinho e faça com que as âncoras apresentem somente esforços horizontais, precisa de um raio de aproximadamente duas vezes a lâmina d'água em que está instalado.

Já o sistema em catenária “taut-leg” foi modelado com um ângulo de 45°, apresentando um raio igual à profundidade em que foi instalado. Porém, como os resultados foram muito folgados em relação aos critérios de projeto estabelecidos, um raio muito menor poderia ter sido proposto, causando uma economia de espaço enorme e pequenas interferências com as plataformas vizinhas.

- **Eficiência dos sistemas de ancoragem**

O sistema em catenária convencional, mesmo quando apresentava um nível de trações de topo maior que o sistema em catenária “taut-leg” e maiores trações de topo em componente horizontal, o passeio da unidade flutuante era aproximadamente o dobro do passeio da unidade flutuante do sistema em catenária “taut-leg”.

Isso demonstra que o sistema em catenária “taut-leg” é mais eficiente que o sistema em catenária convencional.

Esta afirmação já era esperada, pelo fato do sistema em catenária “taut-leg” trabalhar no regime elástico das linhas de ancoragem. O poliéster, por ser um material muito deformável mantém o sistema tracionado, mesmo que sofra uma perda de tensões com o movimento da unidade flutuante e quando solicitado, deforma-se e aumenta o nível de tensões, causando um grande esforço resistente ao movimento da unidade flutuante.

Já o sistema em catenária convencional trabalha com o peso próprio das linhas de ancoragem e o nível de tensões no topo vai aumentando conforme o trecho apoiado no fundo do solo marinho vai se tornando suspenso. Porém essa variação não é muito grande e a unidade flutuante precisa movimentar-se bastante para obter um nível de tensões capaz de resistir aos esforços aplicados.

Porém, o sistema em catenária convencional consegue manter os níveis mínimos de trações com maior eficiência que o sistema em catenária “taut-leg”, pois sempre há um grande peso atuando sobre as linhas de ancoragem.

- **Comparações de material**

Outro fato que se pôde observar comparando os resultados dos sistemas em catenária convencional para as profundidades de 1200 metros e 3000 metros é que este tipo de sistema é mais eficiente com a utilização de cabo de aço ao invés de poliéster.

Com menores trações nas linhas de ancoragem, em relação ao sistema em catenária “taut-leg”, a unidade flutuante apresentou um bom comportamento de passeio.

Como o cabo de aço é muito menos deformável que o poliéster, o deslocamento da unidade flutuante levanta, quase que instantaneamente, a amarra de fundo, causando um aumento do peso da linha de ancoragem e um esforço resistente a esse deslocamento.

Quando a linha de ancoragem é composta por poliéster, o deslocamento da unidade flutuante, para provocar o levantamento da amarra de fundo, provoca o alongamento do poliéster, tornando o sistema menos eficiente.

- **Utilização dos sistemas de ancoragem**

Informalmente, tentou-se gerar um modelo em catenária “taut-leg” para uma lâmina d’água de 200 metros.

Este modelo foi muito difícil de conceber, pois para pequenas profundidades, é muito difícil manter os níveis de tração mínimos do poliéster, já que seu comprimento é bem menor, não causando uma grande deformação ao mesmo.

À medida que a unidade flutuante se movimentava, causava uma grande oscilação de tensões na linha de ancoragem, que poderia ser corrigido se o poliéster sofresse uma pré-tração muito grande.

Isso seria, portanto, antieconômico, pois causaria grandes esforços nas âncoras resistentes à tração e aumentaria o diâmetro dos materiais que compõem as linhas de ancoragem.

Neste caso, para lâminas d’água rasas, a utilização do sistema em catenária convencional é bastante recomendada.

Porém, para lâminas d’água profundas e ultraprofundas, o sistema em catenária “taut-leg” mostrou ser mais eficiente e econômico que o sistema em catenária convencional.

Nestes níveis de profundidade, o diâmetro dos materiais que compõem as linhas de ancoragem é o mesmo do sistema em catenária convencional.

Além disso, o gasto com as âncoras resistentes à tração seria compensado pela economia com o comprimento das linhas e a diminuição do raio de interferência da plataforma.

9 REFERÊNCIAS

1. Programa PROSIM – Simulação Numérica do Comportamento de Unidades Flutuantes Ancoradas – Manual Teórico, Abril de 2006.
2. Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W., et al, “The Force Exerted by Surface Waves on Piles”, *Petrol. Trans., AIME*, no 189, 1950.
3. DNV – Rules for Mobile Offshore Units, January 1998.
4. Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures, API Recommended Practice 2SK, Second Edition, December 1996.
5. Metocean Data of Offshore Systems and Units for Campos Basin, I-ET-3000.00-1000-941-PPC-001, March 2005