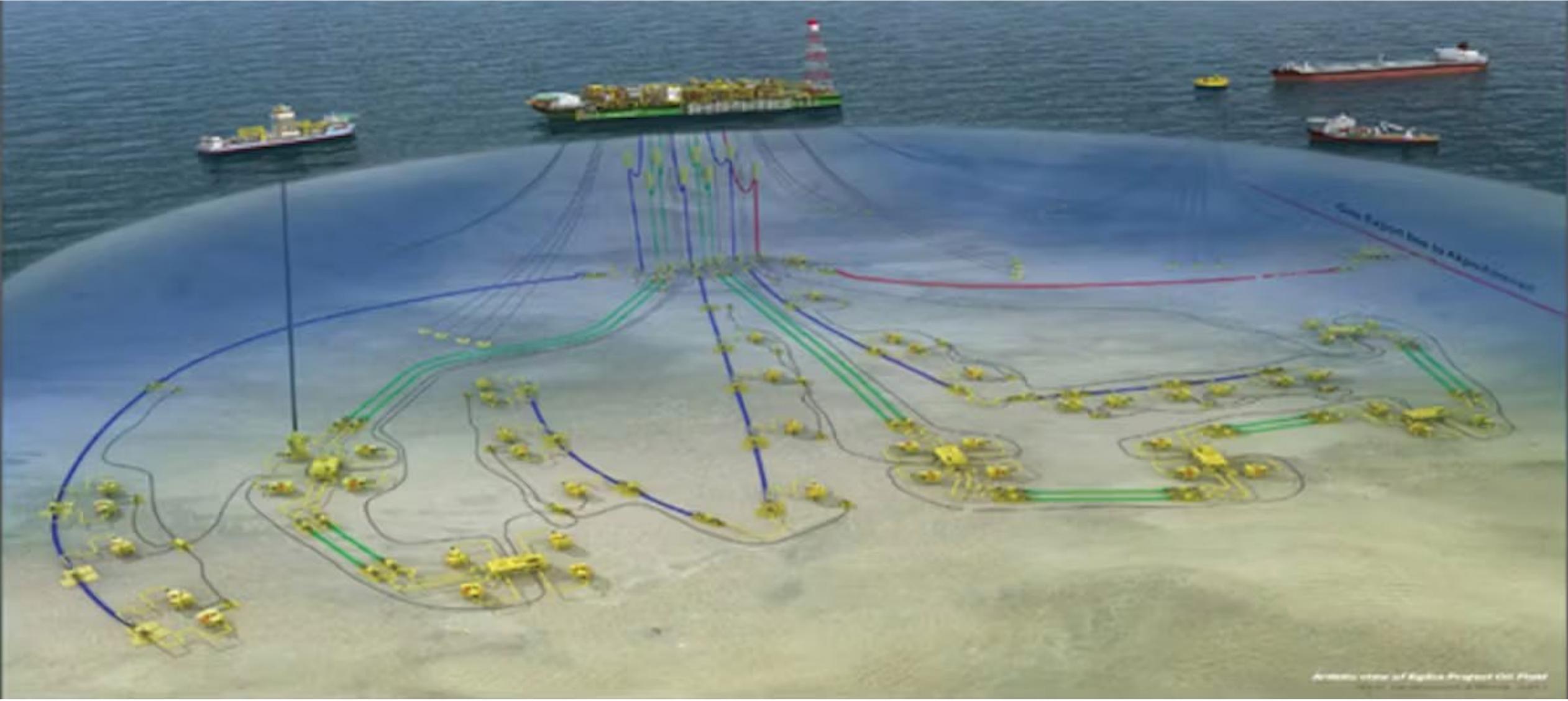


SISTEMA DE ANCORAGEM



PROF. BERNARDO ANDRADE
PROF. KAZUO NISHIMOTO

O SISTEMA OCEÂNICO DE PRODUÇÃO E SEUS COMPONENTES

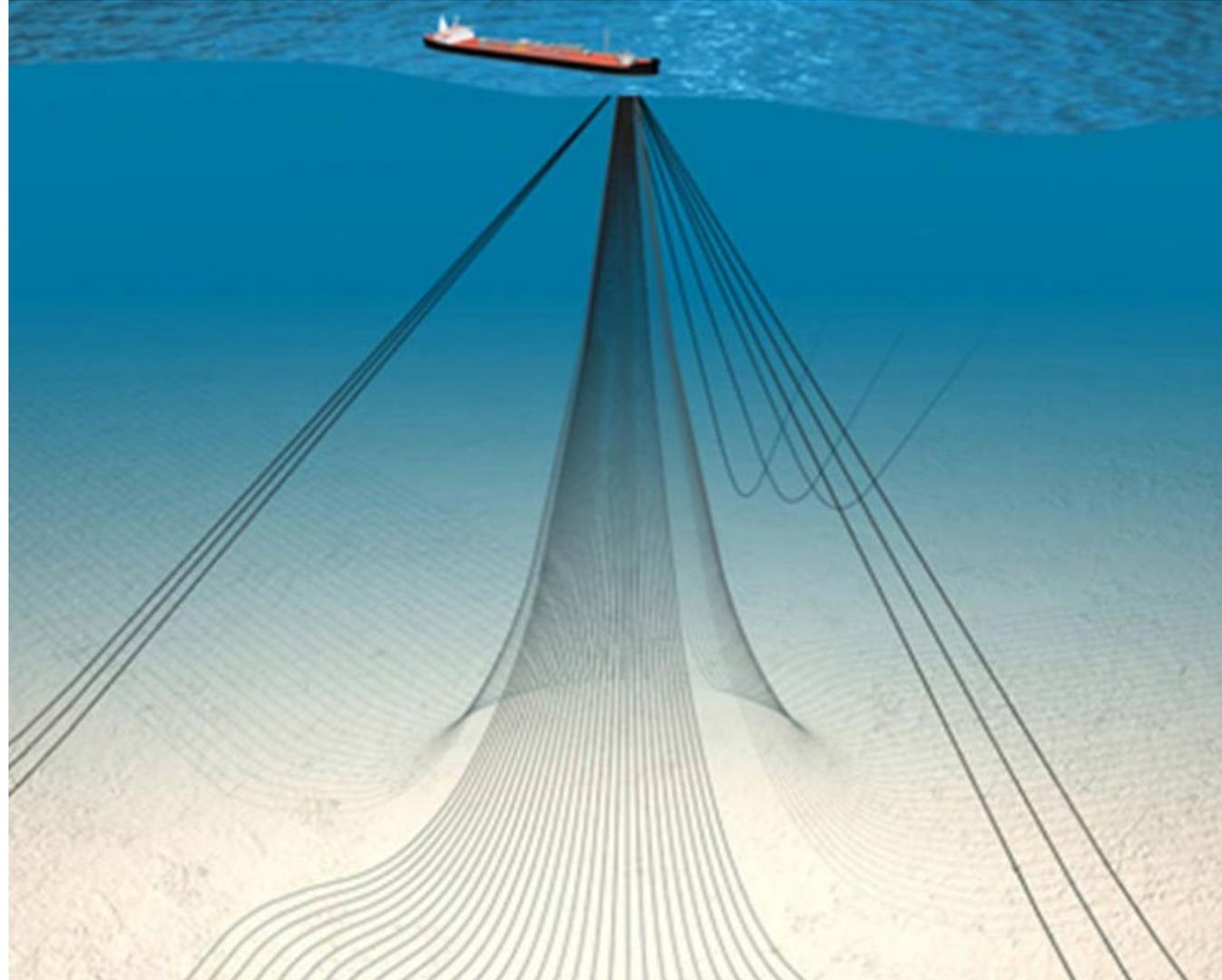
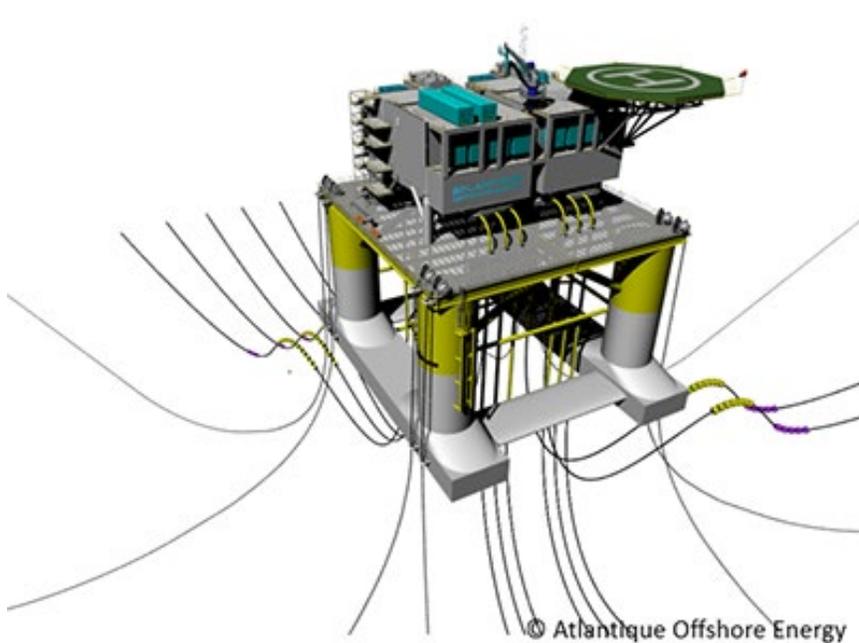


Arbitrarily named off-shore production platform

O SISTEMA DE ANCORAGEM

FUNÇÃO

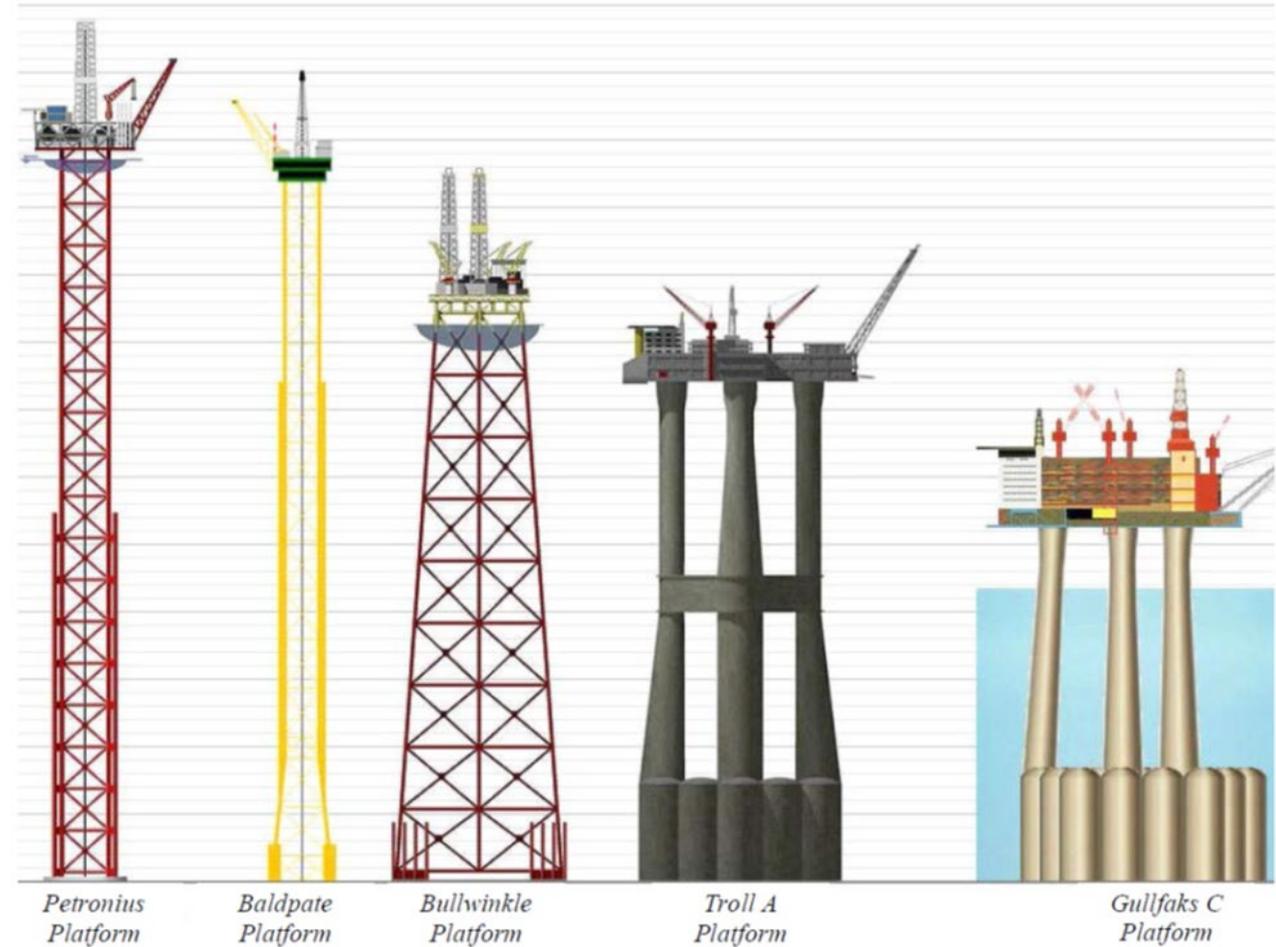
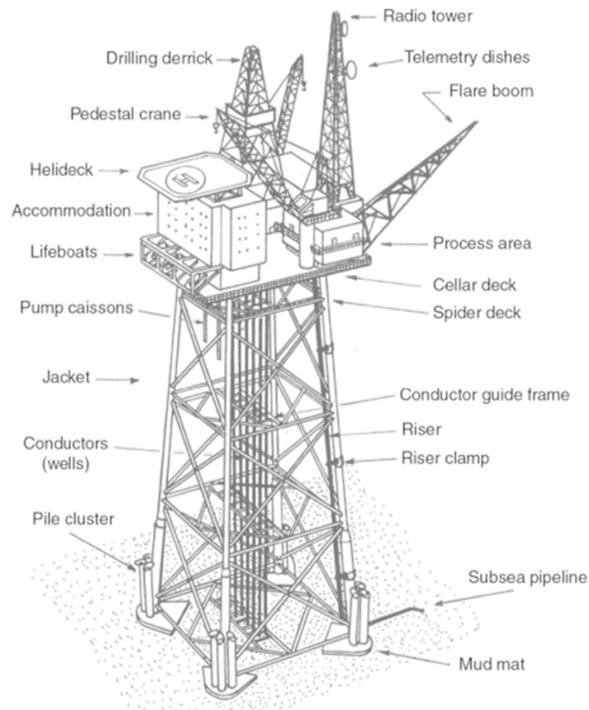
- Manter a Plataforma na Localização de Projeto (Station Keeping)
- Limitar a excursão ou passeio (offset) da Plataforma no plano horizontal da superfície do mar, evitando danos aos Risers conectados às instalações submarinas e aos equipamentos no solo marinho.



O SISTEMA DE ANCORAGEM – PLATAFORMAS FIXAS

PLATAFORMAS FIXAS

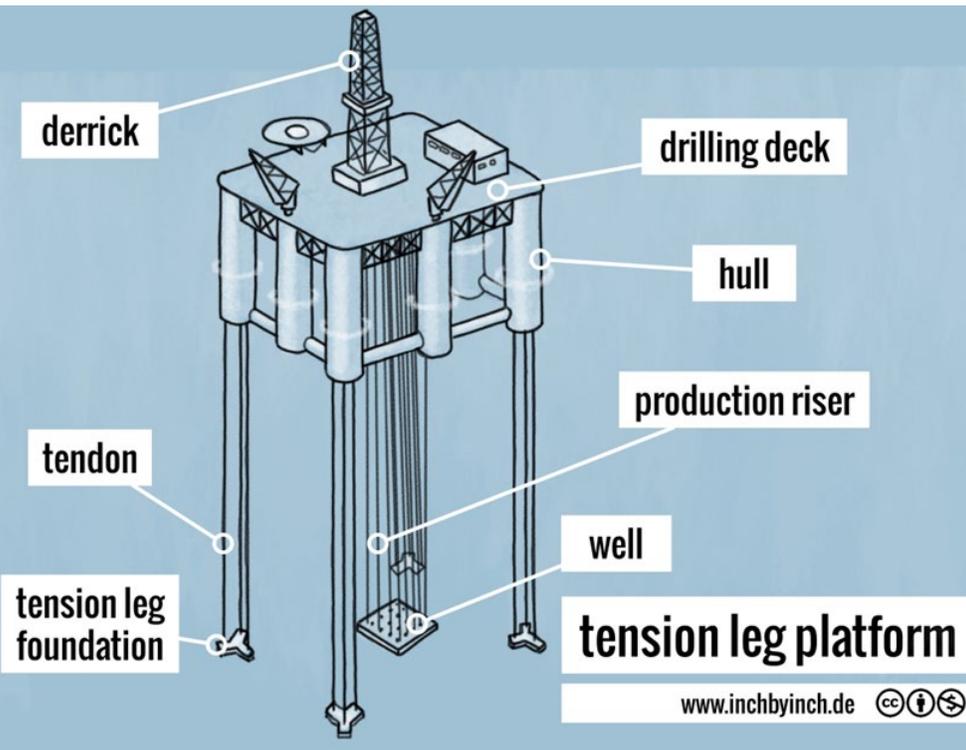
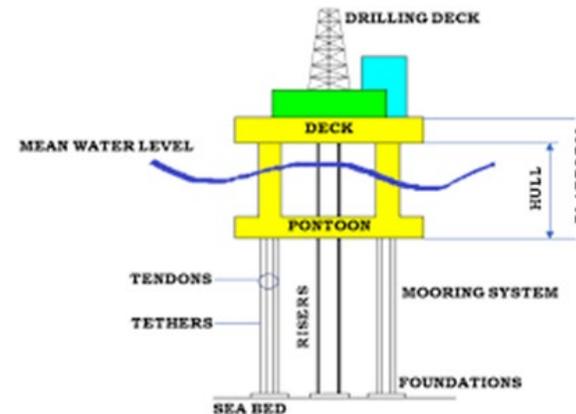
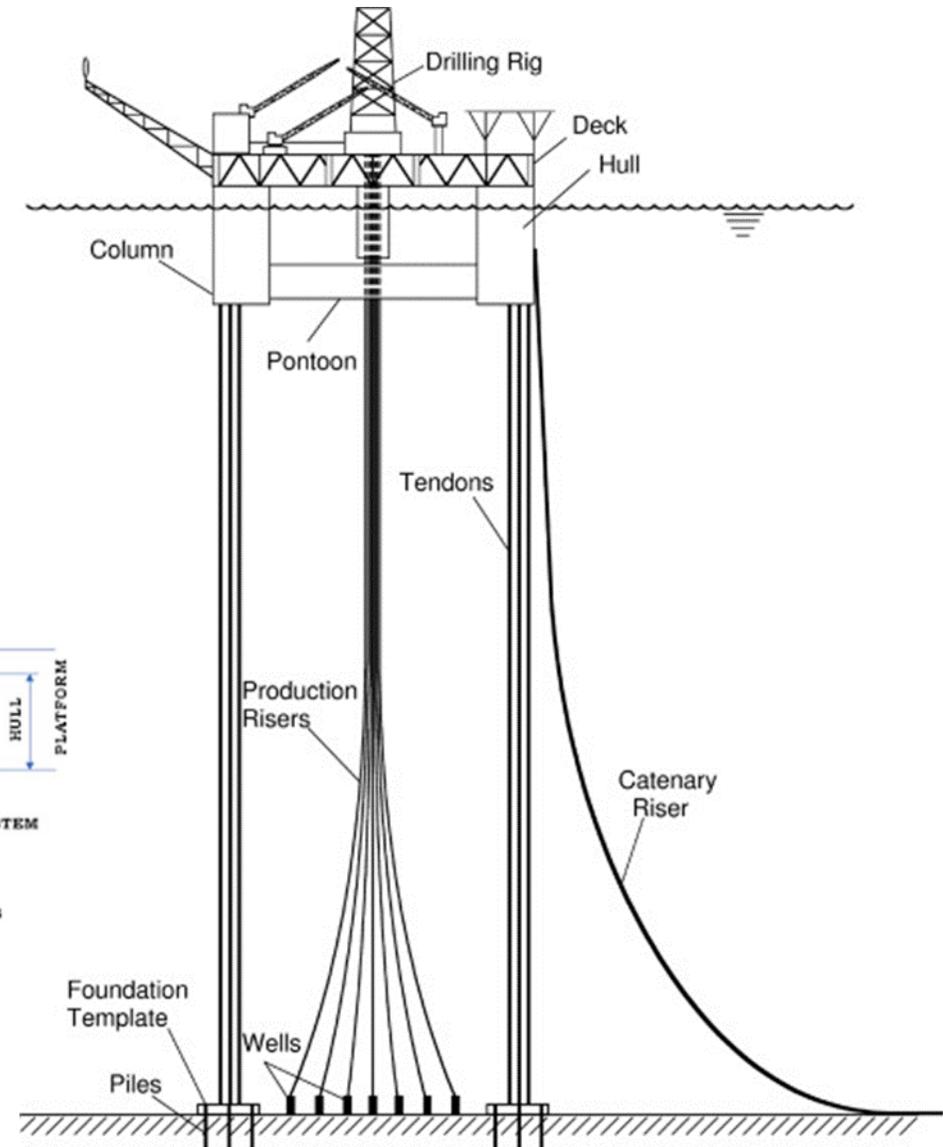
- São plataformas ancoradas diretamente na sua locação, pela sua estrutura apoiada no solo, através de estacas cravadas ou pelo peso próprio.
- Não estão sujeitas a problemas de movimento ou de passeio no plano horizontal.
- Possuem limitação de profundidade máxima de instalação.



O SISTEMA DE ANCORAGEM – PLATAFORMAS TLP

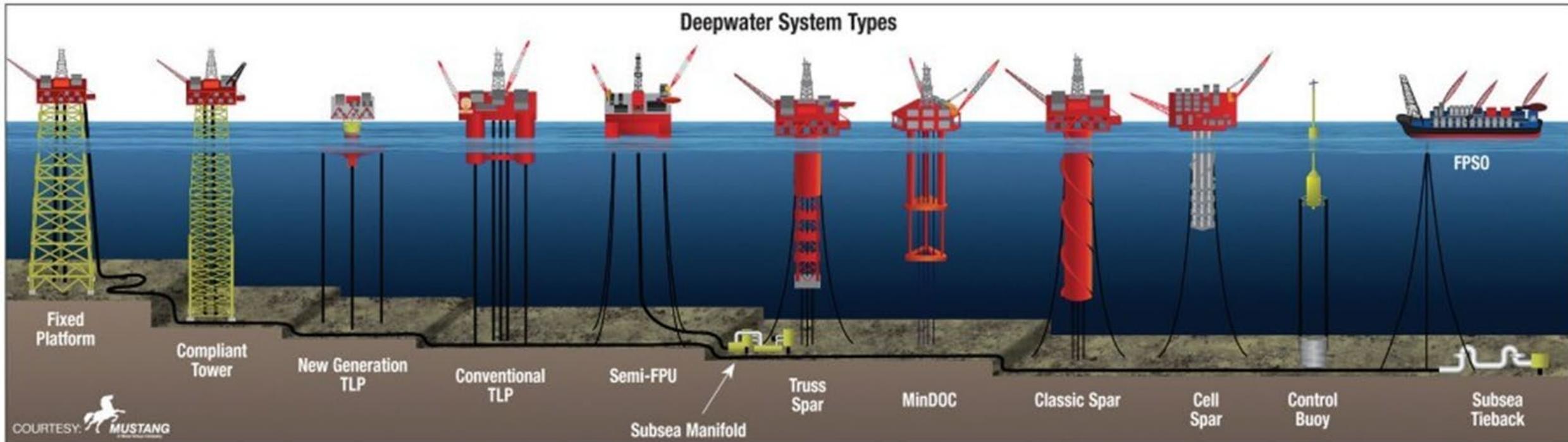
PLATAFORMAS TLP – Tension Leg Platform – (flutuação positiva)

- São plataformas ancoradas por tendões fixados na plataforma e presos ao solo através de fundações estaqueadas.
- Não estão sujeitas a problemas de movimento vertical.
- O passeio no plano horizontal é pequeno e bastante limitado.
- Possuem limitação de profundidade máxima de instalação.



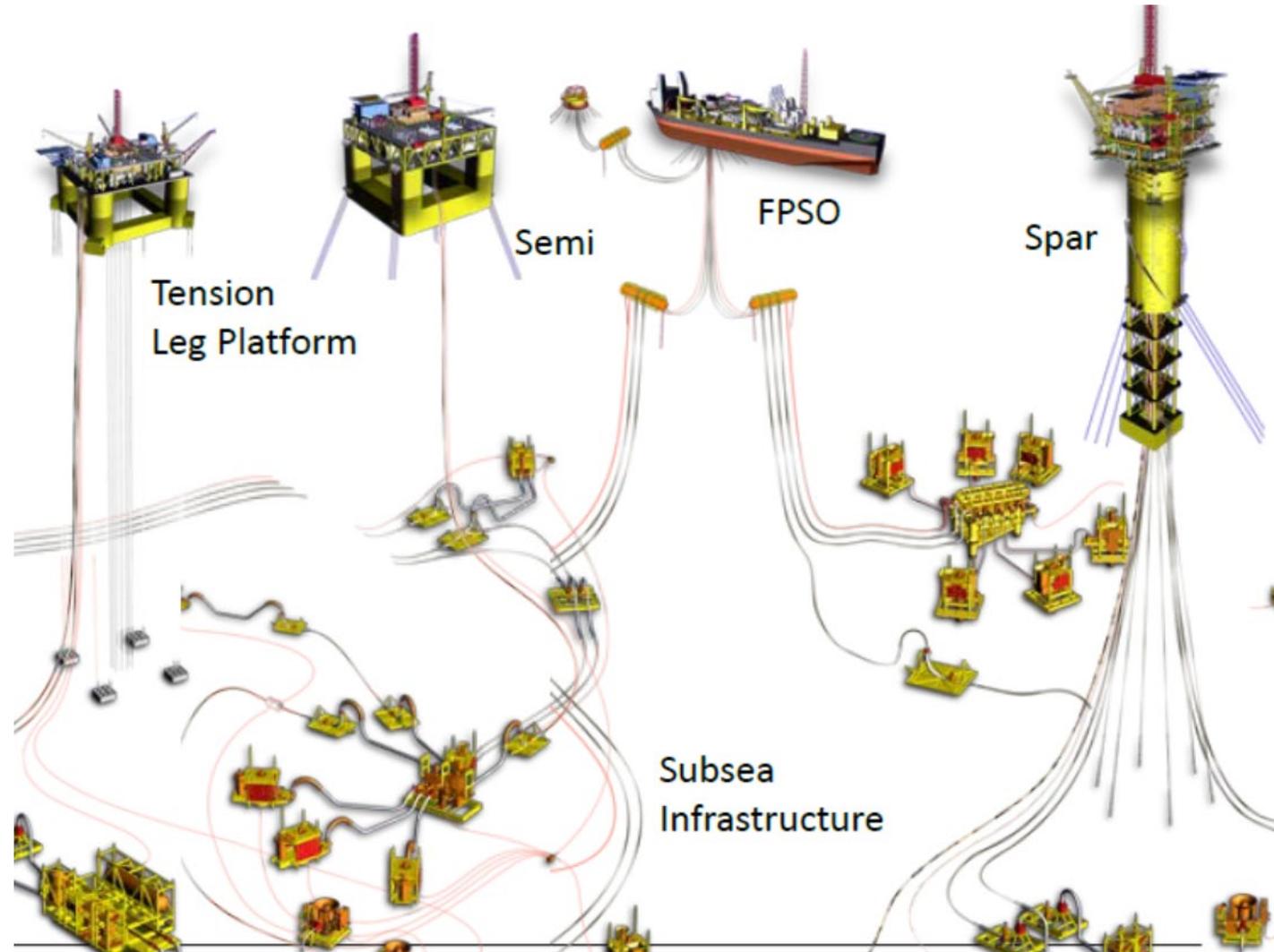
O SISTEMA DE ANCORAGEM – ÁGUAS PROFUNDAS

- A medida em que a produção se move para águas profundas ou ultra-profundas (>1500m), novos tipos de plataformas são necessários.
- SÃO AS PLATAFORMAS FLUTUANTES DE PRODUÇÃO (flutuação neutra)



O SISTEMA DE ANCORAGEM – ÁGUAS PROFUNDAS

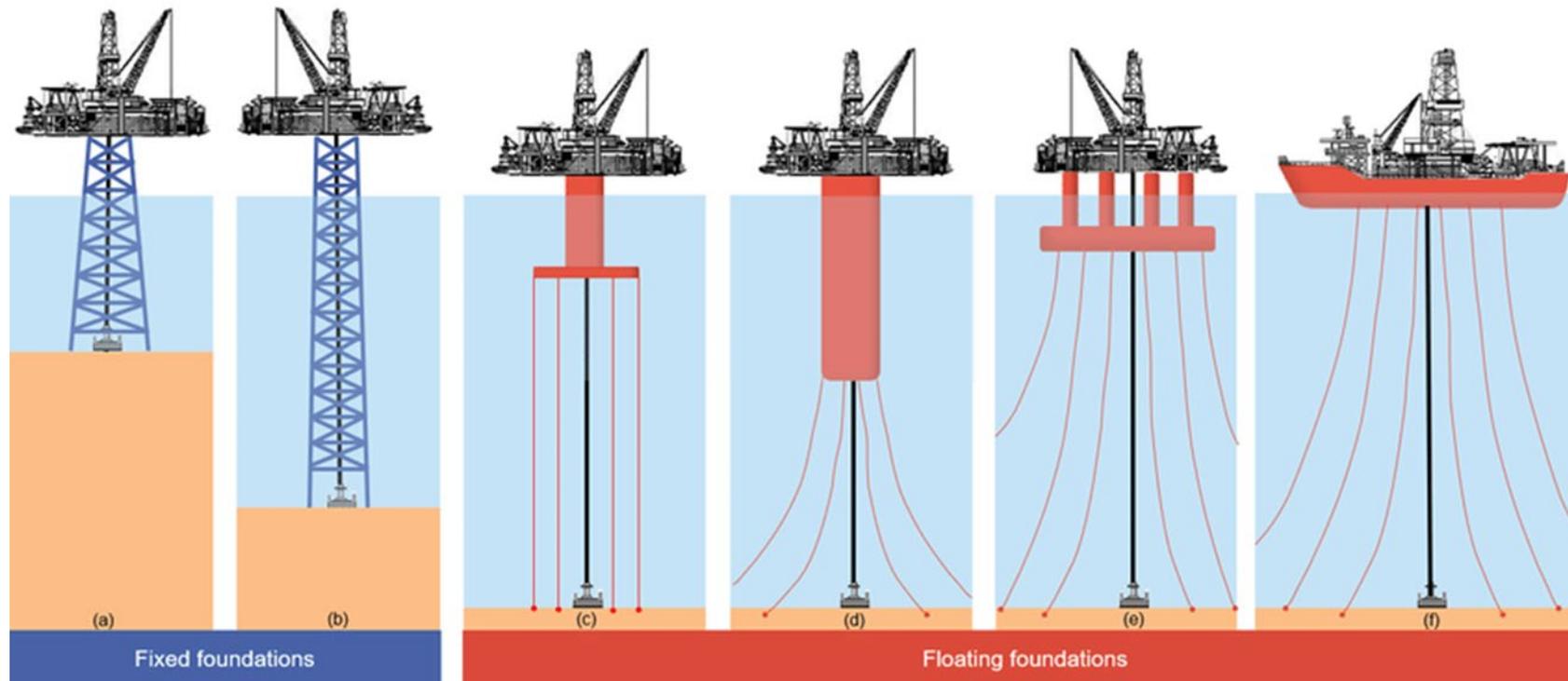
- PLATAFORMAS FLUTUANTES DE PRODUÇÃO: SEMI-SUBMERSÍVEL; SPAR; FPSO



O SISTEMA DE ANCORAGEM – PLATAFORMAS FLUTUANTES

SISTEMA DE ANCORAGEM

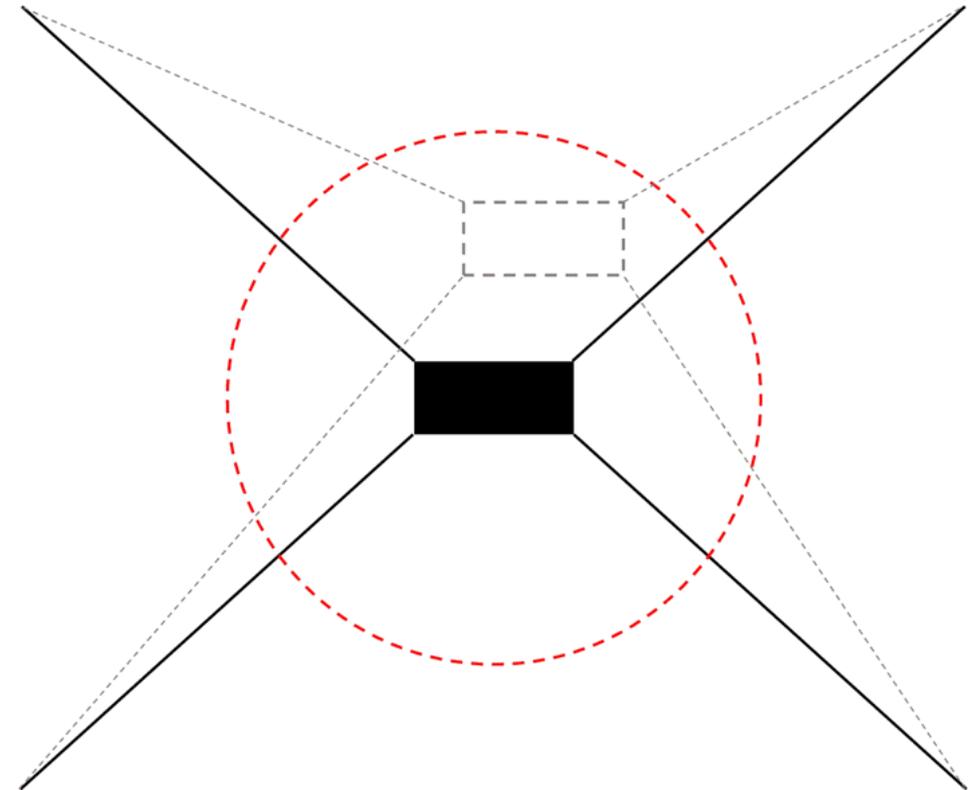
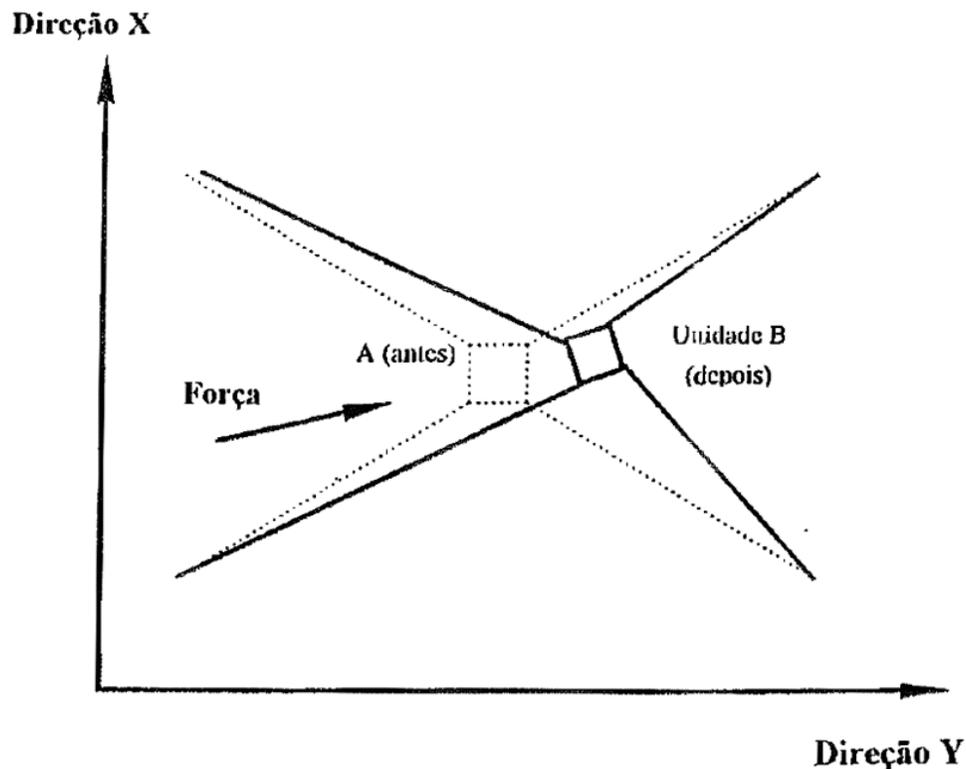
- Formado por um conjunto de Linhas de Amarração ou Ancoragem.
- As Linhas são lançadas do casco da Plataforma até o solo marinho, onde são fixadas a uma Âncora.
- As linhas são constituídas de material flexível (baixa ou nenhuma rigidez à flexão) e assumem a geometria de uma Catenária ao serem lançadas do casco da plataforma.



O SISTEMA DE ANCORAGEM – PLATAFORMAS FLUTUANTES

SISTEMA DE ANCORAGEM - FUNÇÃO

- Manter a Plataforma na Localização de Projeto (Station Keeping).
- Limitar a excursão ou passeio (offset) da Plataforma no plano horizontal da superfície do mar, evitando danos aos Risers conectados às instalações submarinas e aos equipamentos no solo marinho (no máximo 10% a 15 % da profundidade)
- O passeio resulta dos movimentos induzidos pelas Forças Ambientais agindo na Plataforma devido à incidência das Ondas, do Vento e da Correnteza → Depende da **Rigidez** do Sistema de Ancoragem

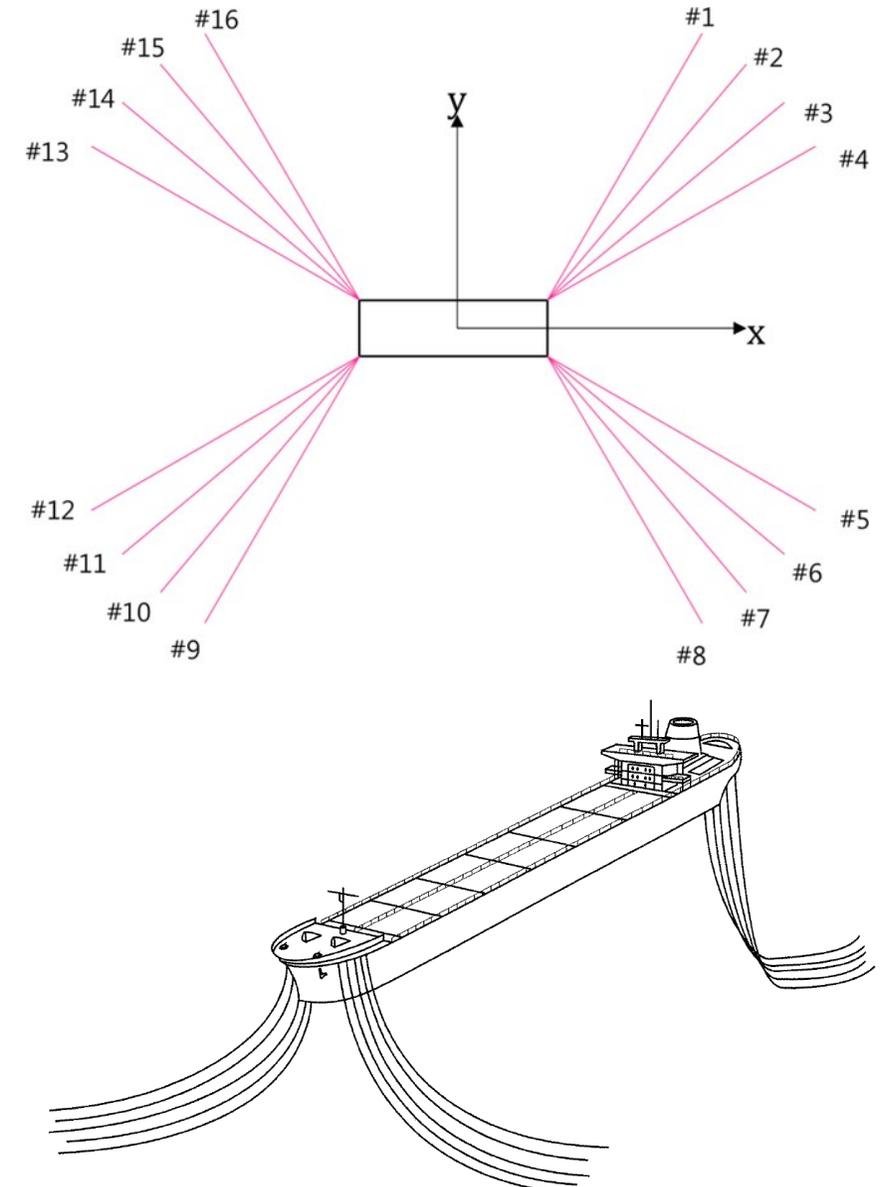
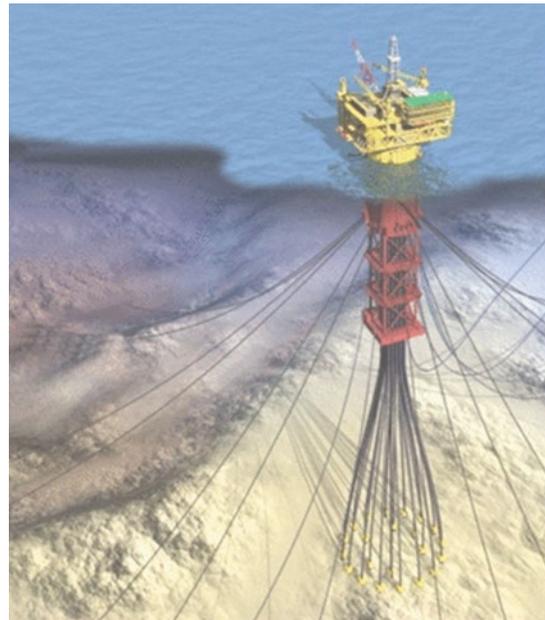
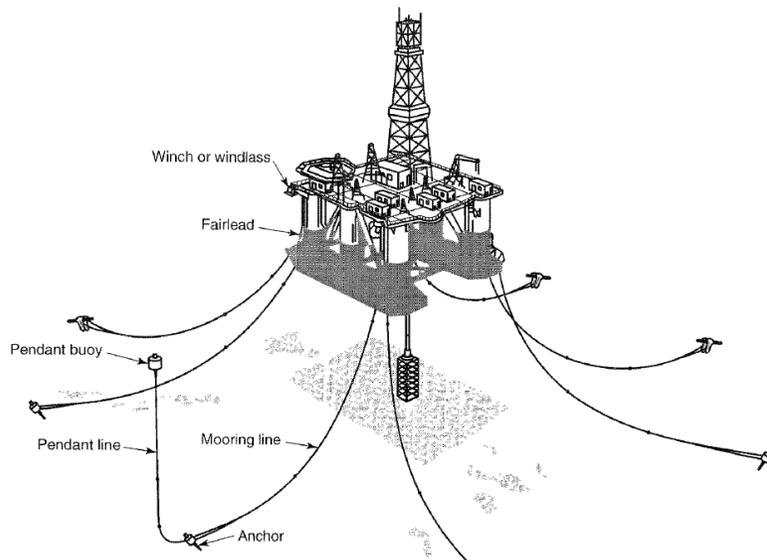


O SISTEMA DE ANCORAGEM – PLATAFORMAS FLUTUANTES

SISTEMA DE ANCORAGEM – PRINCIPAIS TIPOS

- SPREAD MOORING SYSTEMS (SMS)

- Aplicado a SEMI, SPAR e FPSO
- É um conjunto de linhas de amarração lançado ao redor da plataforma (8 a 24 linhas)
- No caso de FPSOs é chamado também de DICAS (differentiated compliance anchoring system)



O SISTEMA DE ANCORAGEM – PLATAFORMAS FLUTUANTES

SISTEMA DE ANCORAGEM – PRINCIPAIS TIPOS

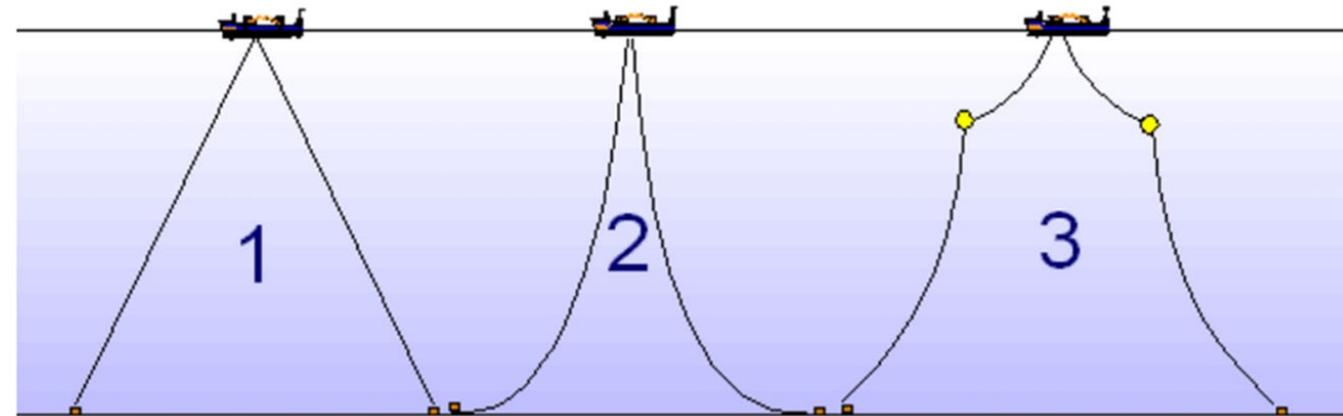
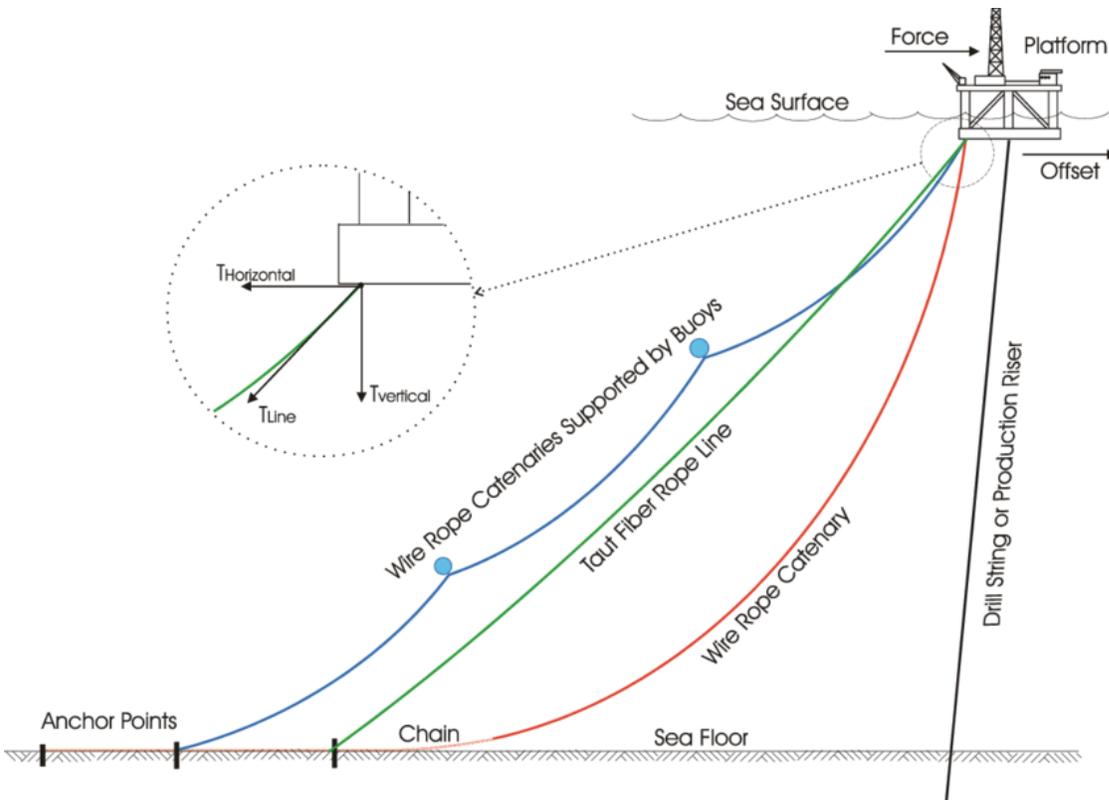
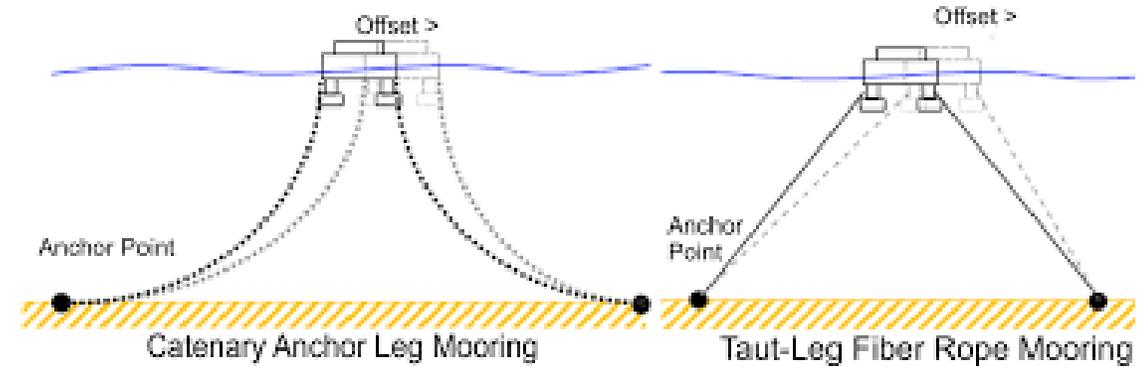
- SINGLE POINT MOORING (SPM)
 - Aplicado a plataformas com forma de navio (FPSO, FSO, Navio Aliviador)
 - As linhas são lançadas de um mesmo ponto da plataforma ou de uma boia
 - Os sistemas SPM permitem que a plataforma Gire e se Alinhe com a ação ambiental para minimizar as forças sobre a plataforma
 - Dois tipos: Turret Mooring para FPSOs; CALM (catenary anchor leg mooring) ou SALM (single anchor leg mooring) para FSOs e Aliviadores



O SISTEMA DE ANCORAGEM – CONFIGURAÇÕES DAS LINHAS

EXISTEM TRÊS TIPOS DE CONFIGURAÇÃO

1. TAUT-LEG (linha retesada ou catenária retesada)
2. CATENARY (catenária simples ou completa)
3. CATENÁRIA COM BOIAS E PESOS



O SISTEMA DE ANCORAGEM – CONFIGURAÇÕES DAS LINHAS

CARACTERÍSTICAS DAS CONFIGURAÇÕES

1. TAUT-LEG

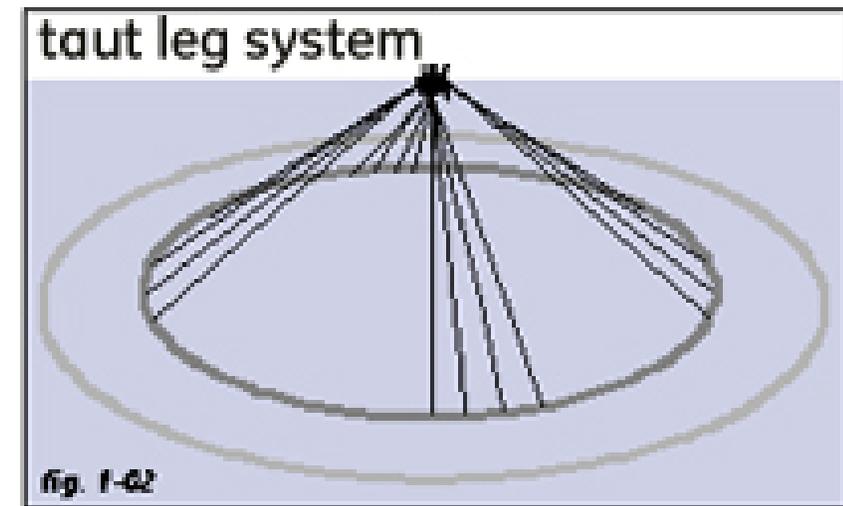
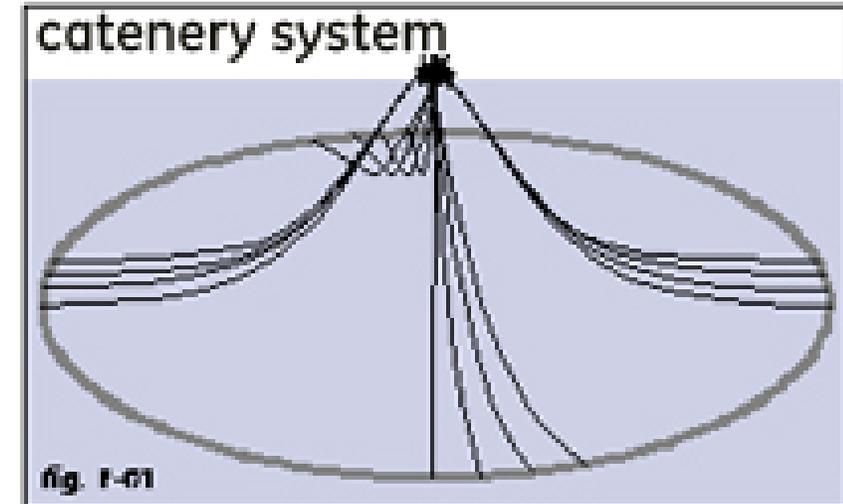
- Linhas retesadas conferem maior Rigidez ao Sistema de Ancoragem
- Ocupam uma área menor no solo marinho, facilitando e simplificando o arranjo (layout) submarino
- Principal material é o Cabo de Poliéster
- Necessitam de âncoras com resistência a forças verticais

2. CATENARY

- São mais simples de instalar
- Ocupam maior área do solo marinho
- Os materiais podem ser Correntes, Cabos de Aço e Cabos de Poliéster

3. CATENÁRIA COM BOIAS E PESOS

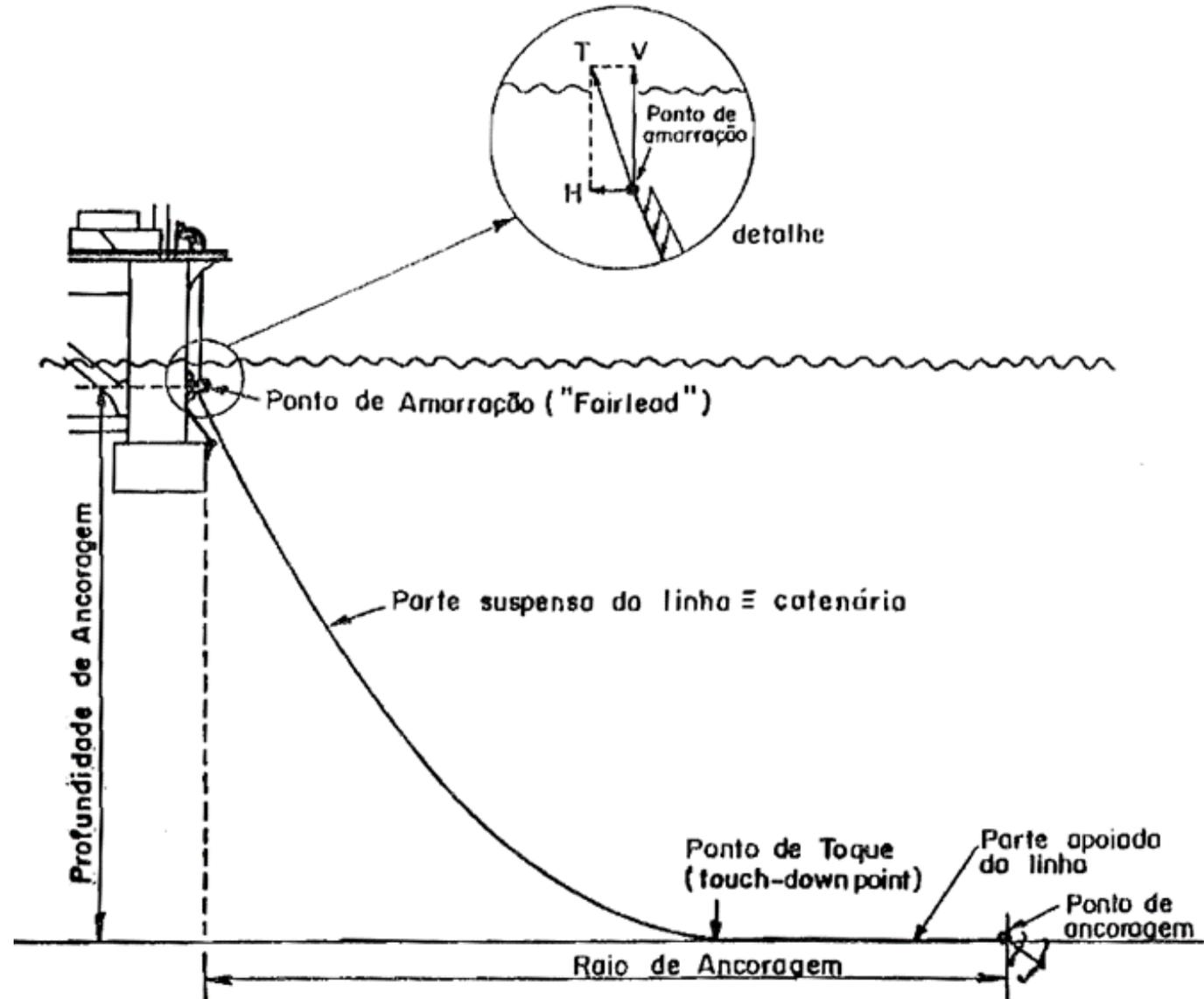
- Conferem maior Rigidez ao Sistema de Ancoragem
- As boias reduzem as forças verticais na plataforma e evitam o contato da linha com o solo



O SISTEMA DE ANCORAGEM – CONFIGURAÇÕES DAS LINHAS

CARACTERÍSTICAS DAS CONFIGURAÇÕES

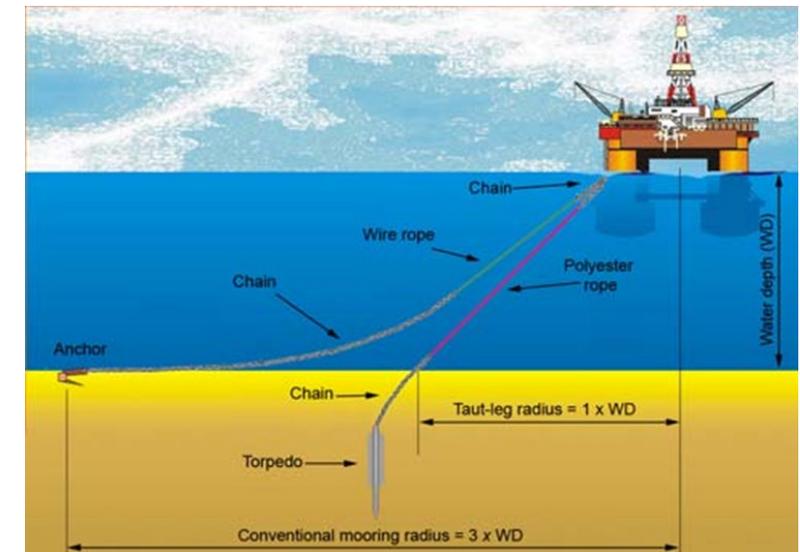
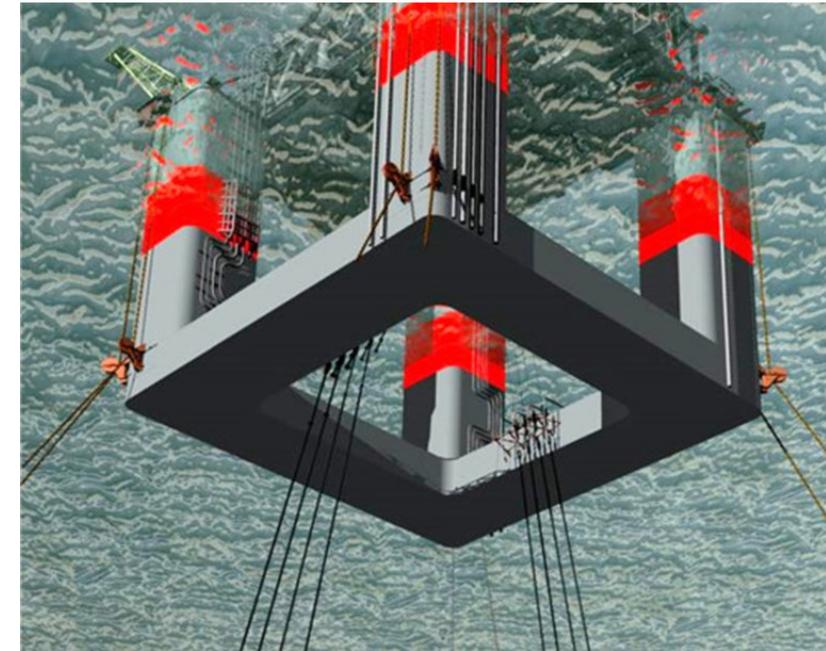
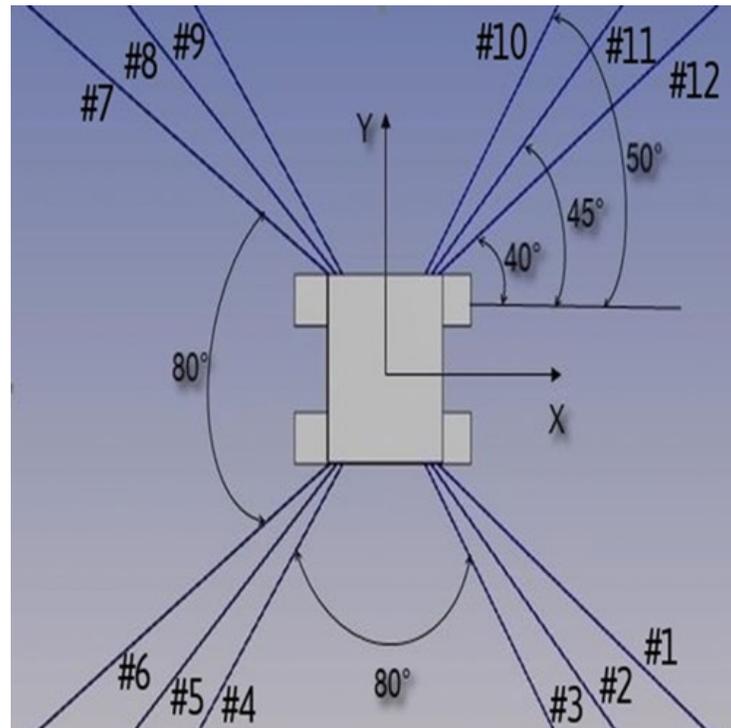
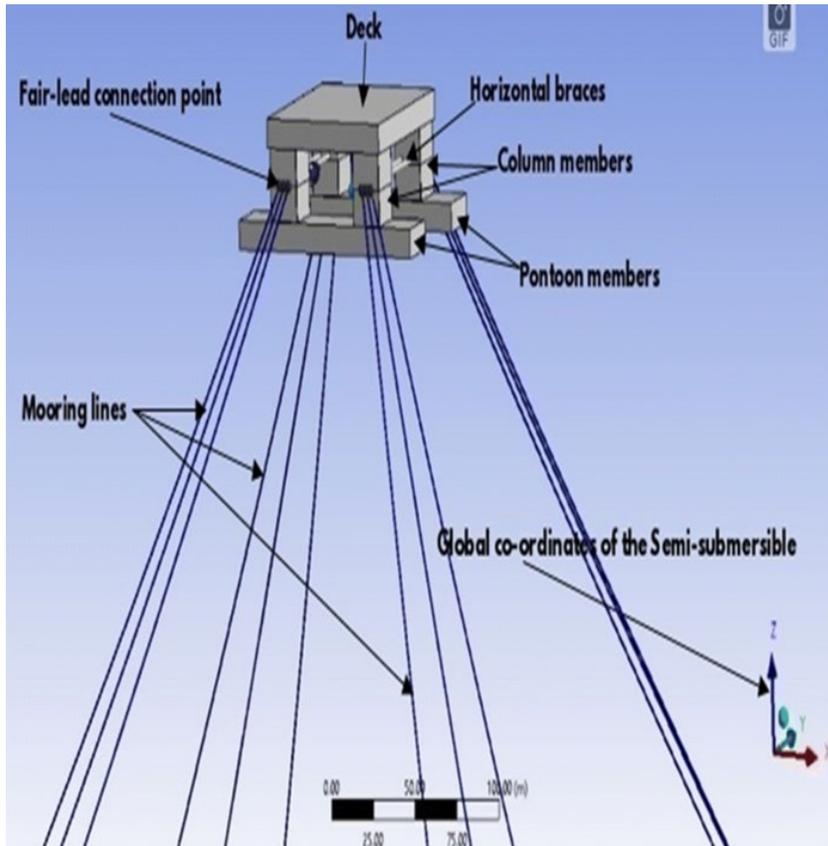
- **Profundidade de Ancoragem:** distância vertical do Ponto de Amarração (Fairlead) ao solo.
- **Raio de Ancoragem:** distância horizontal do Fairlead até a Âncora.
- **Ponto de Amarração (Fairlead):** ponto de conexão da extremidade superior da linha com a plataforma.
- **Ponto de Ancoragem:** ponto de instalação da âncora onde se conecta a extremidade inferior da linha.
- **Ponto de Toque (Touch-Down point):** posição em que a linha toca o solo.
- **Pré-Tensão (Pre-Tension):** tração no ponto de amarração da linha na configuração inicial de projeto.



O SISTEMA DE ANCORAGEM – SEMI-SUBMERSÍVEIS

SISTEMAS DE ANCORAGEM DE SEMI-SUBMERSÍVEIS

- O Sistema de Ancoragem é do tipo SMS
- As linhas podem ter as três configurações
- As linhas são lançadas a partir das colunas da plataforma



O SISTEMA DE ANCORAGEM – SPAR

SISTEMAS DE ANCORAGEM DE SPAR

- O Sistema de Ancoragem é do tipo SMS
- As linhas podem ter as três configurações
- As linhas são lançadas ao redor do casco circular da plataforma

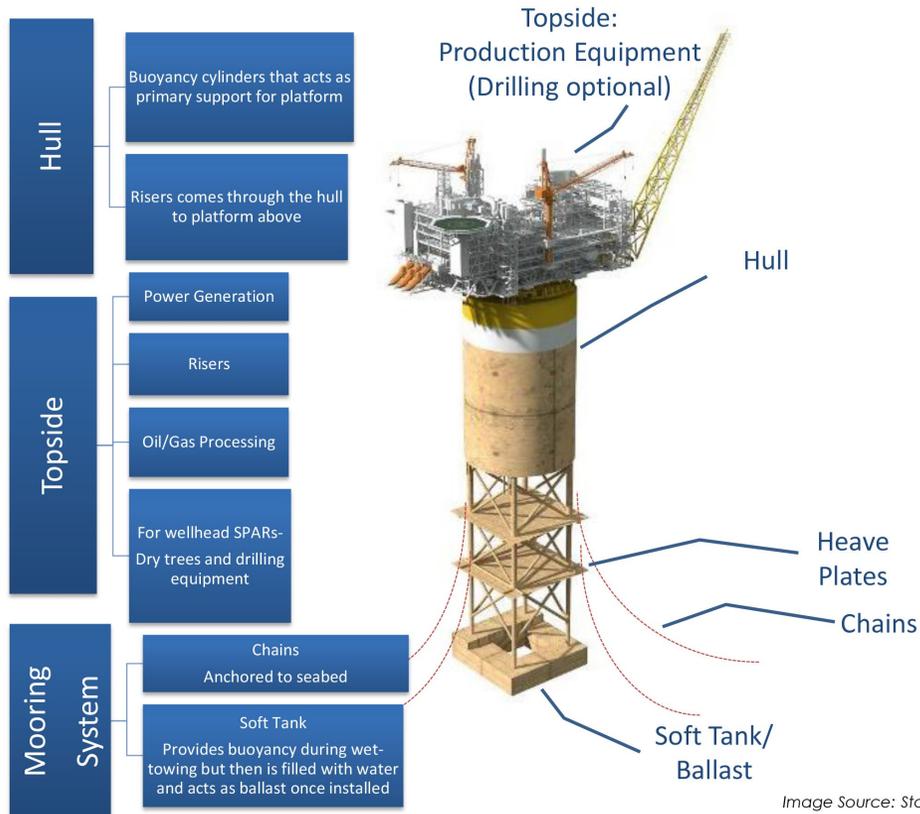
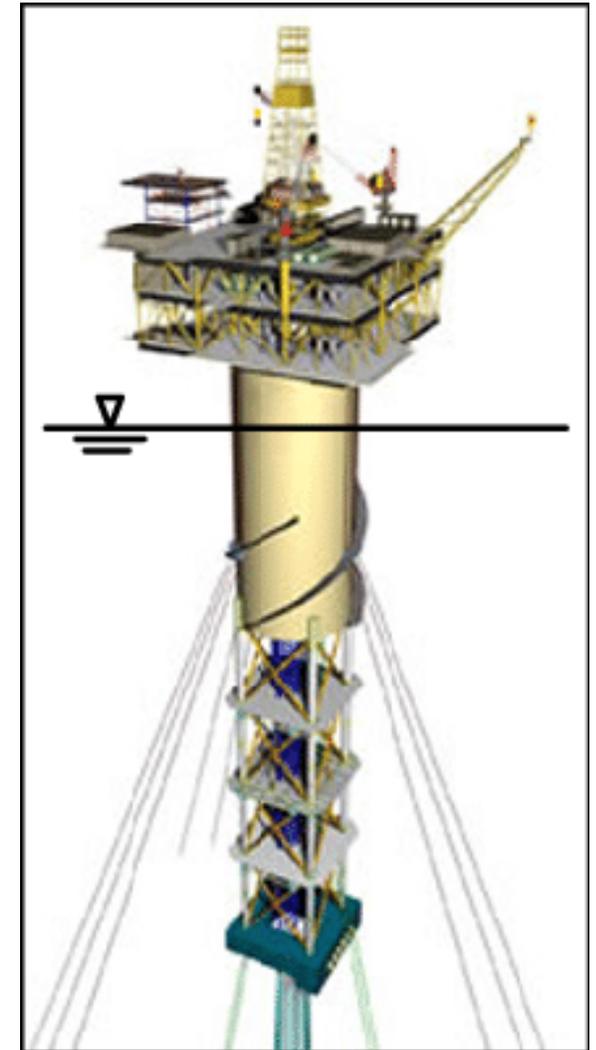
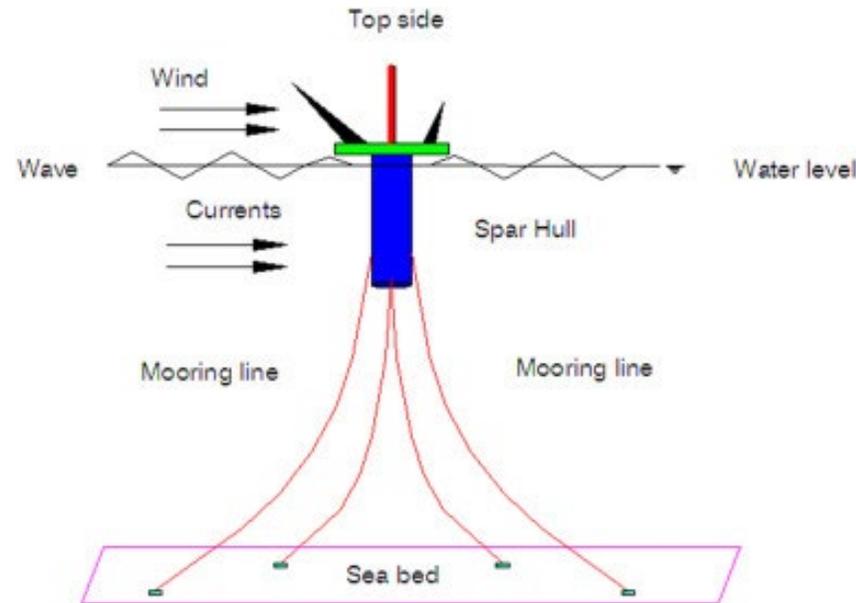


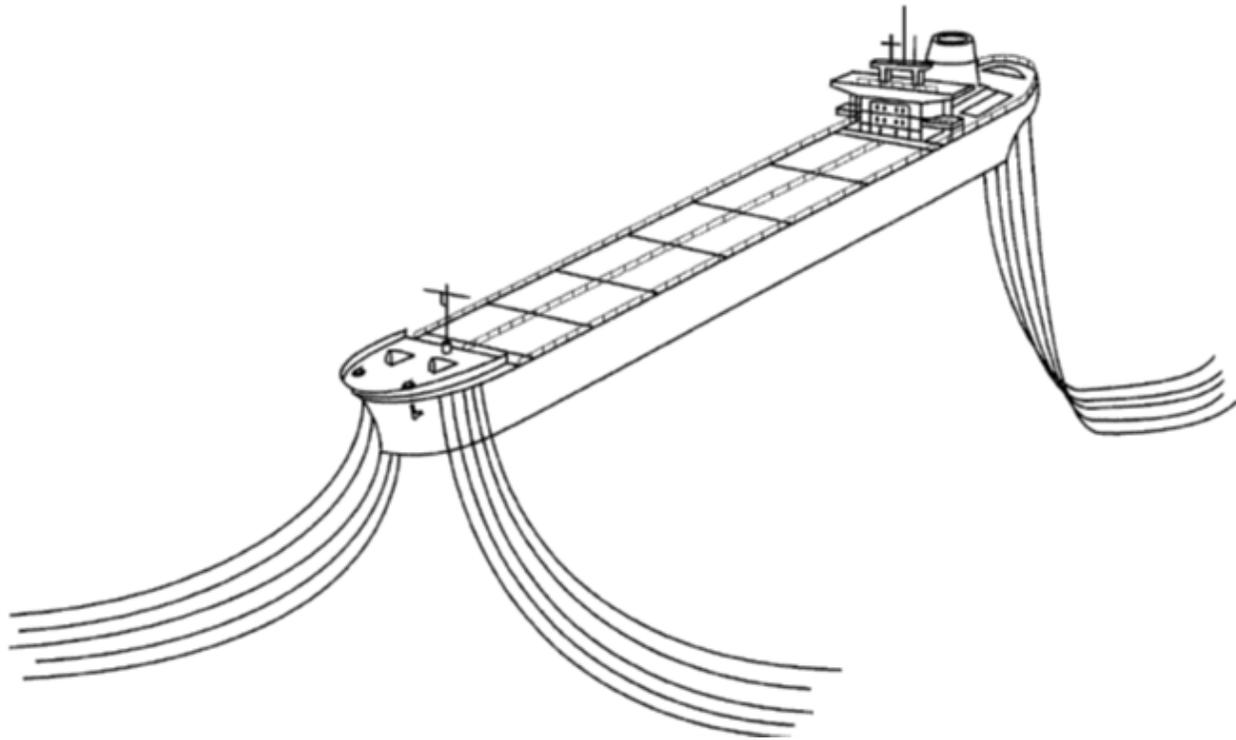
Image Source: Stat



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FPSO

SISTEMAS DE ANCORAGEM DE FPSO

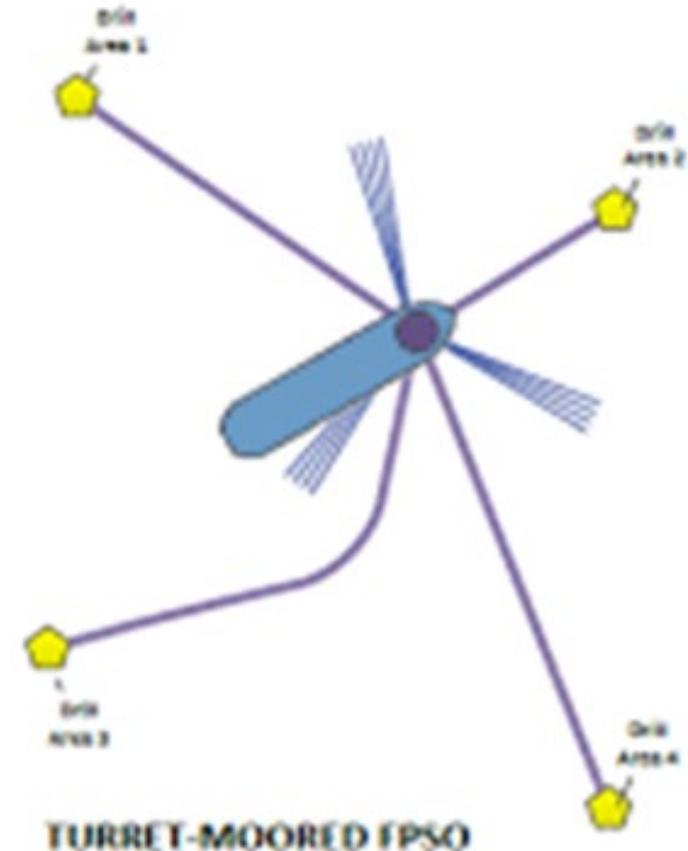
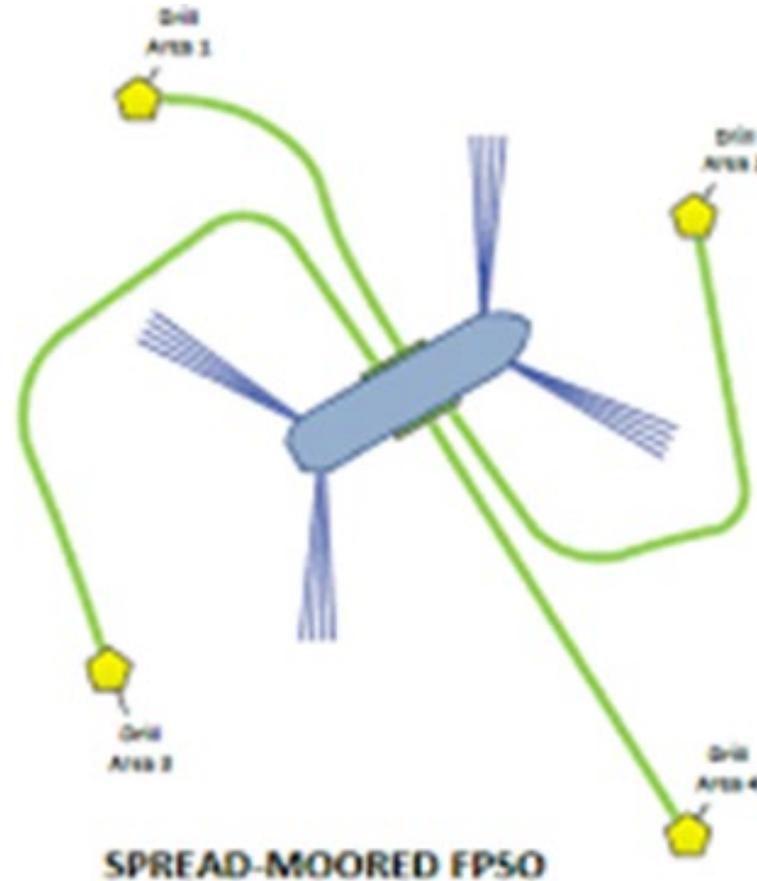
- O Sistema de Ancoragem é do tipo SMS ou Turret
- As linhas podem ter as três configurações
- As linhas são lançadas da proa e da popa do casco ou ao redor do Turret



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FPSO

SISTEMAS DE ANCORAGEM DE FPSO - COMPARAÇÃO

- O Sistema de Ancoragem é do tipo SMS ou Turret
- As linhas são lançadas da proa e da popa do casco ou ao redor do Turret



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FPSO

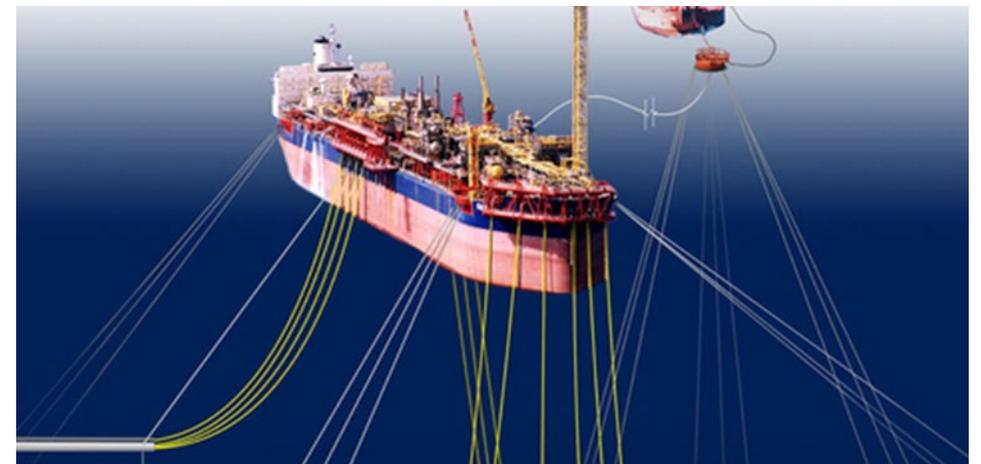
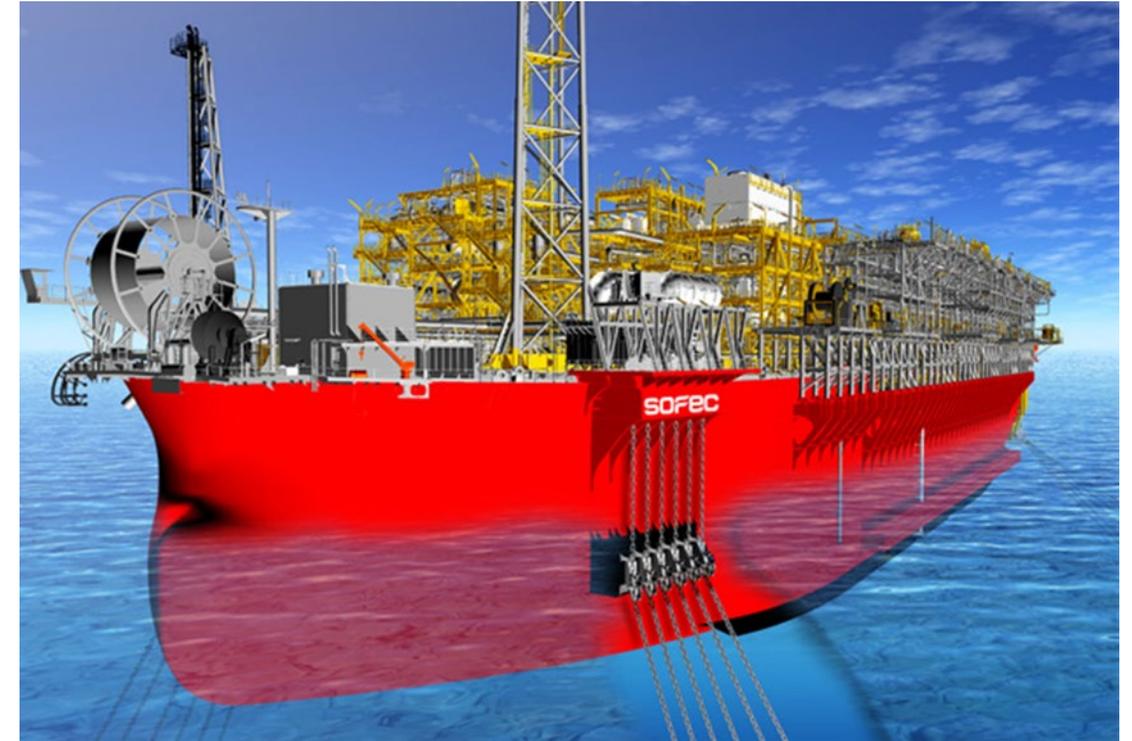
SISTEMAS DE ANCORAGEM SMS (DICAS)

- As linhas são lançadas da proa e da popa do casco



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FPSO

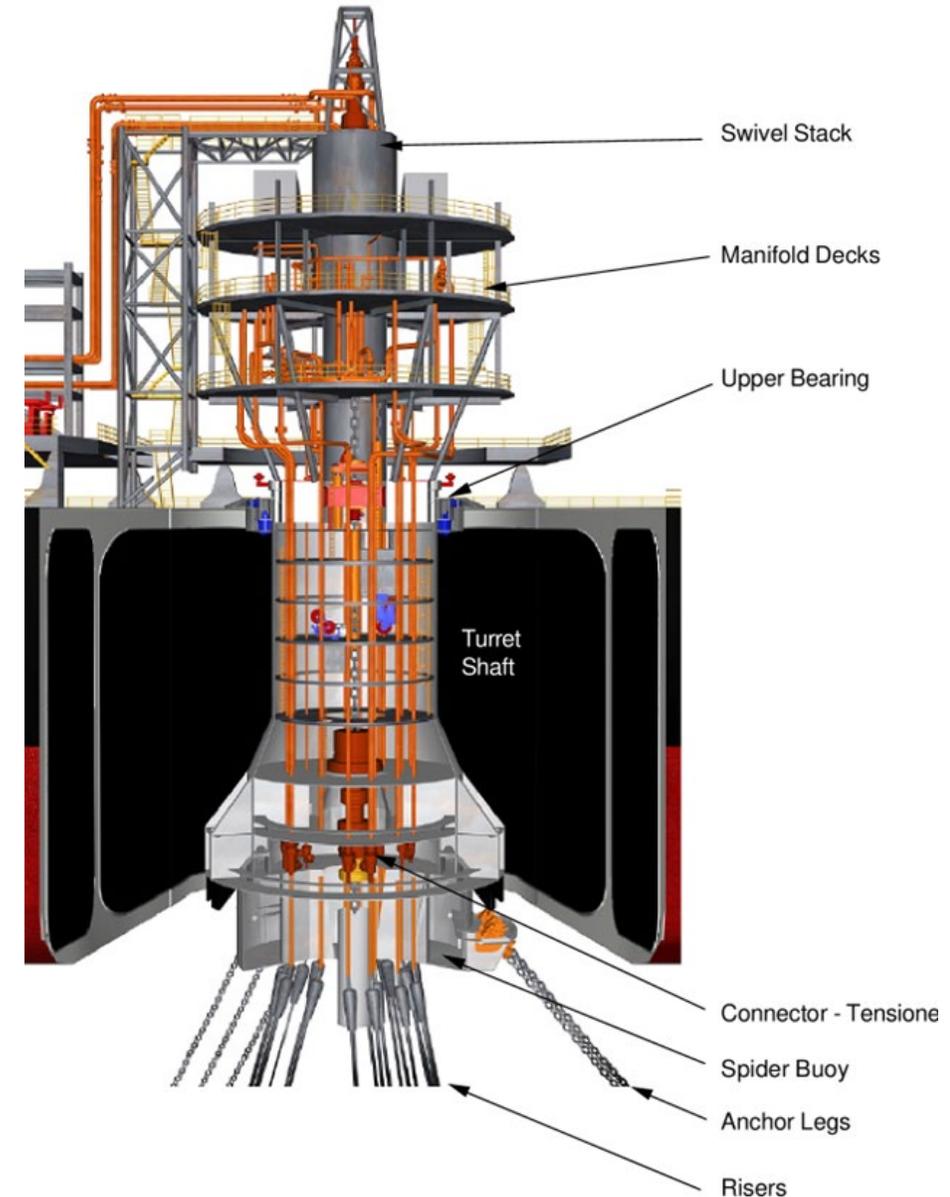
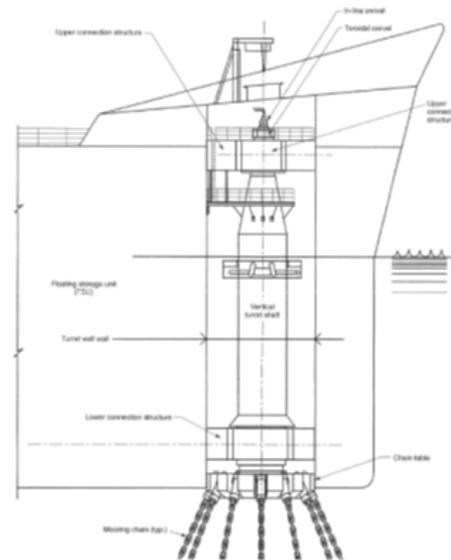
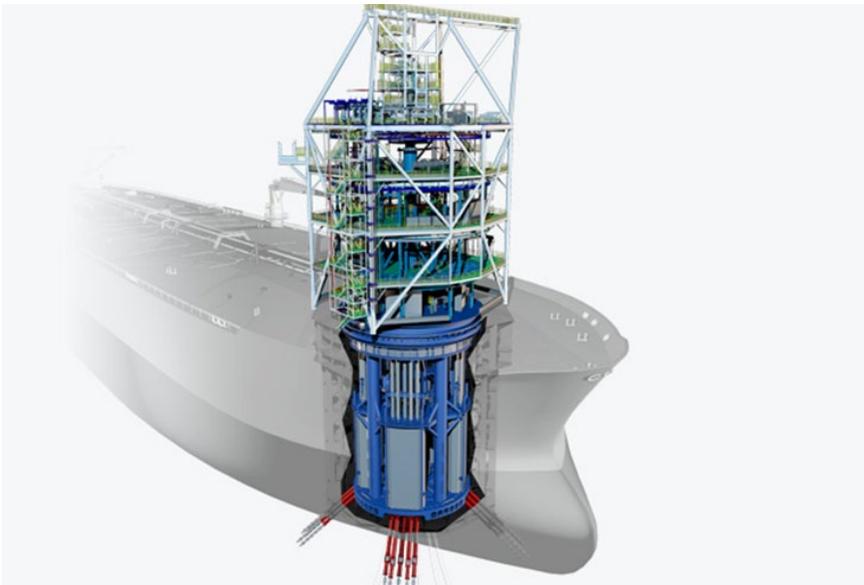
SISTEMAS DE ANCORAGEM SMS (DICAS)



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FPSO

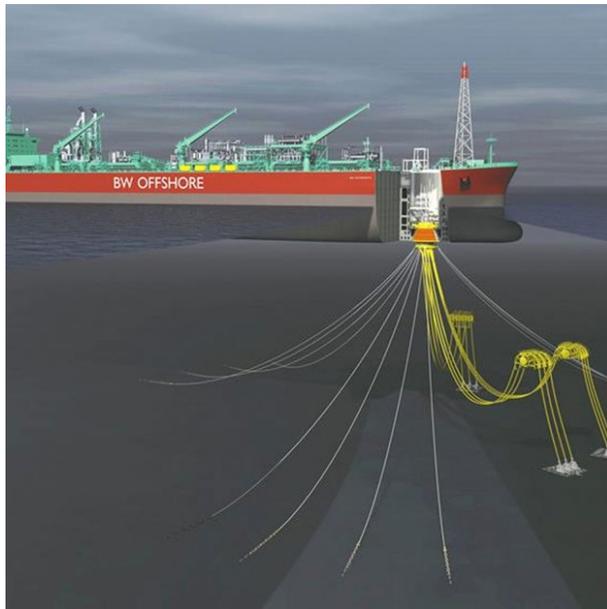
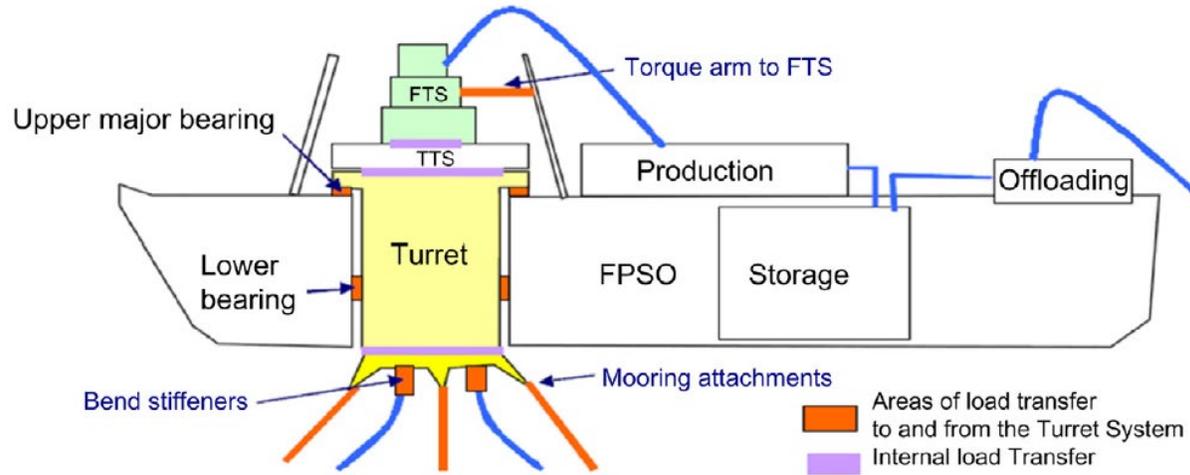
SISTEMAS DE ANCORAGEM TURRET (SPM)

- As linhas são lançadas ao redor do eixo do Turret, que pode ser Interno ou Externo ao Casco.
- TURRET: Eixo vertical apoiado em dois grandes rolamentos fixados no casco do FPSO.
- As linhas de amarração são fixadas na parte inferior do eixo, numa bandeja circular.
- Os Risers sobem pela parte central do eixo e são acoplados a um Manifold na parte superior do eixo.



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FPSO

SISTEMAS DE ANCORAGEM TURRET (SPM)



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FPSO

SISTEMAS DE ANCORAGEM TURRET (SPM) E SMS



FPSO Pioneiro de Libra – Campo de Mero

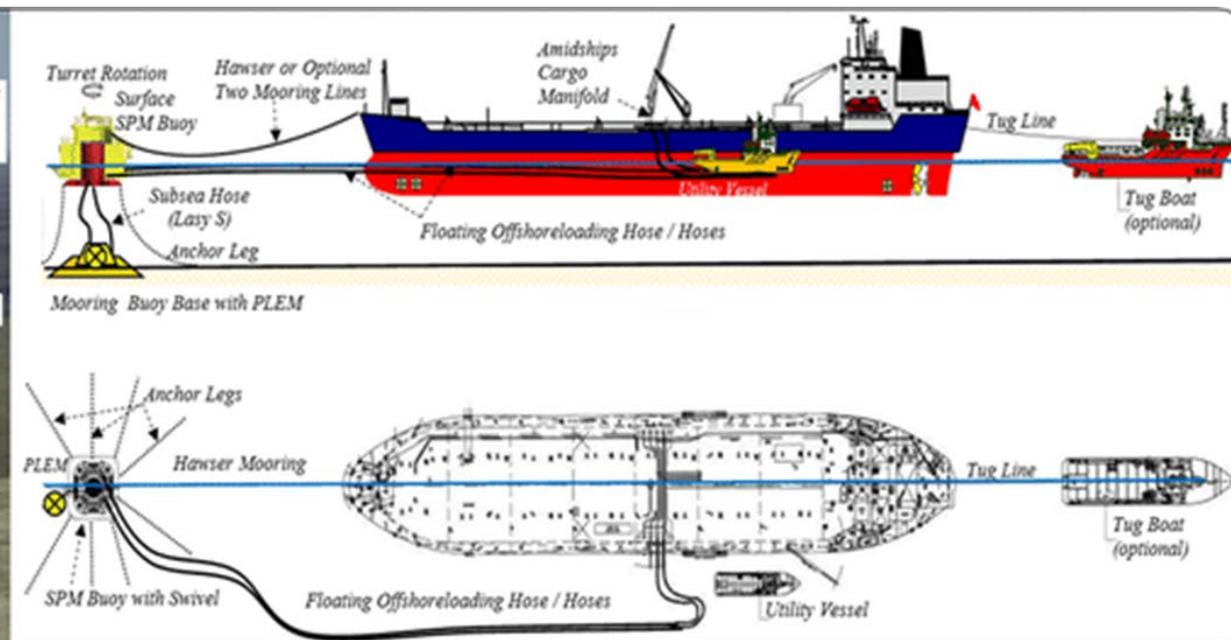
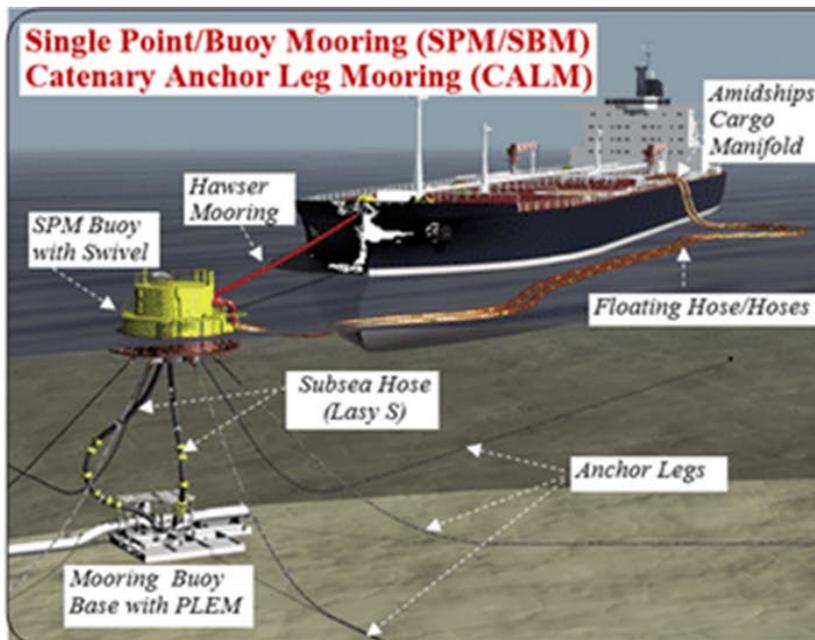


FPSO SEPETIBA

O SISTEMA DE ANCORAGEM – FSO E NAVIOS ALIVIADORES

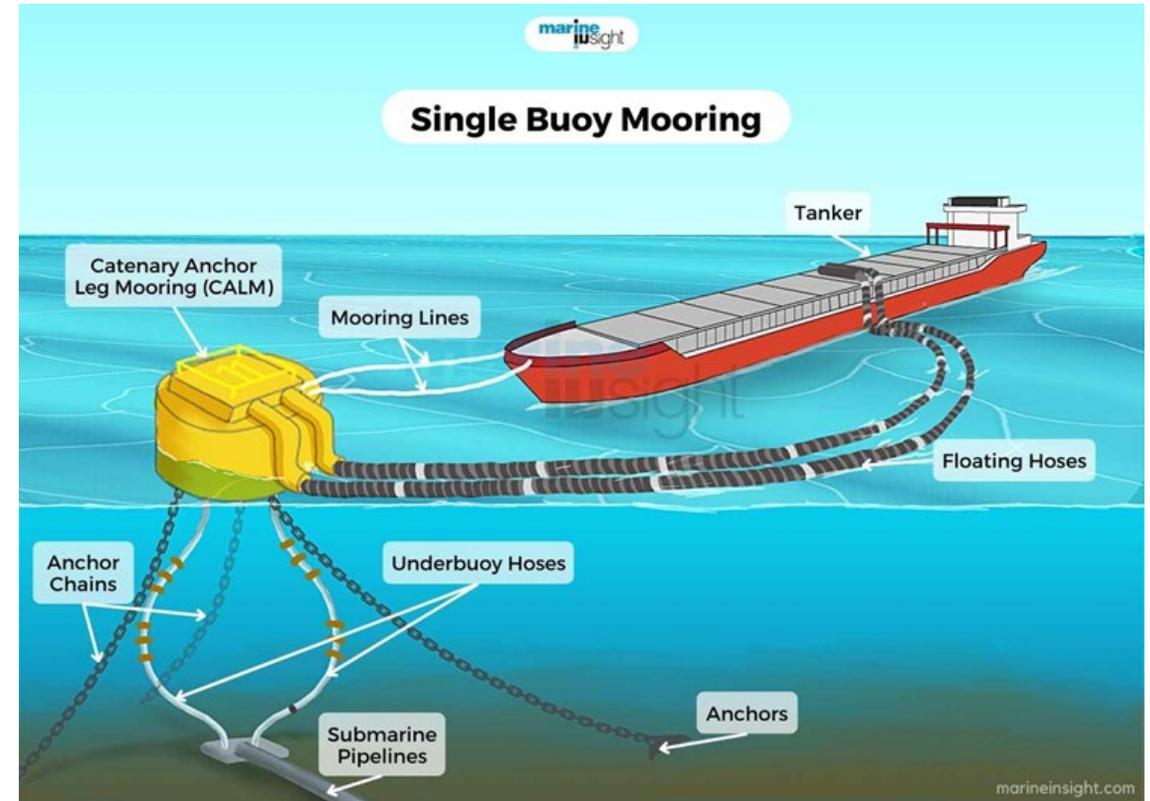
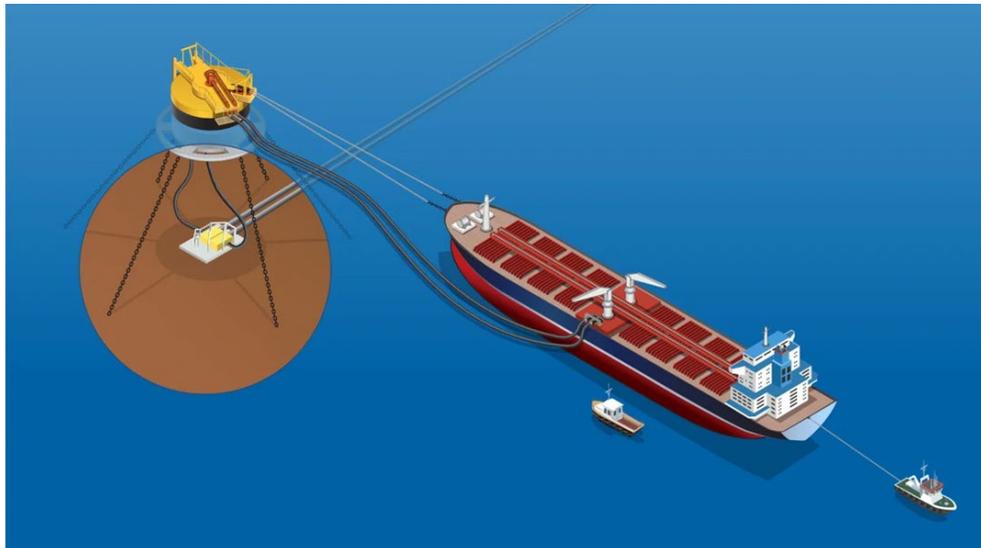
SISTEMAS DE ANCORAGEM DE FSO E ALIVIADORES (SPM)

- O Sistema de Ancoragem é do tipo CALM OU SALM
- As linhas podem ter as três configurações
- As linhas são lançadas de uma boia onde se ancora o FSO ou o Navio Aliviador



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FSO E NAVIOS ALIVIADORES

SISTEMAS DE ANCORAGEM DE FSO E ALIVIADORES (SPM)



O SISTEMA DE ANCORAGEM – COMPONENTES

Componentes do Sistema de Ancoragem

- Linhas de Ancoragem
- Âncoras (anchor)
- Guinchos (winches & windlasses)
- Fairlead
- Boias e Pesos (clump weights and buoys)
- Elementos de Conexão (connecting hardware)



O SISTEMA DE ANCORAGEM – LINHAS DE ANCORAGEM

Linhas de Ancoragem - Materiais

Correntes (Steel Chain)

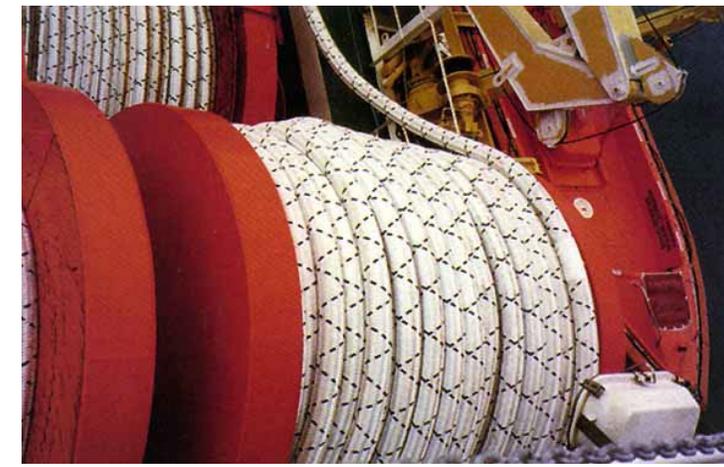
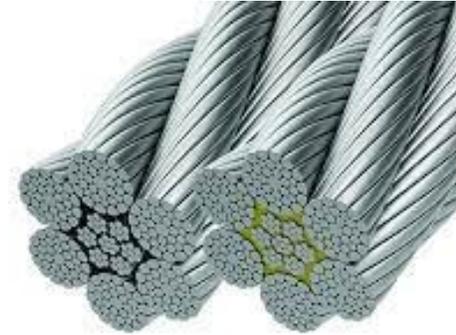
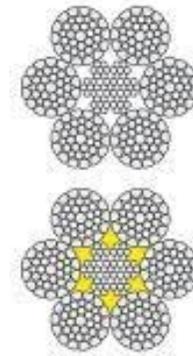
- Alta durabilidade e resistência a abrasão;
- Alto peso linear: problema em águas profundas

Cabos de Aço (Steel Wire Rope)

- Mais leve que as correntes
- Maior capacidade de restauração e maior comprimento para uma dada pré-tensão
- Desgaste devido à abrasão

Cabo Sintético (Synthetic Rope)

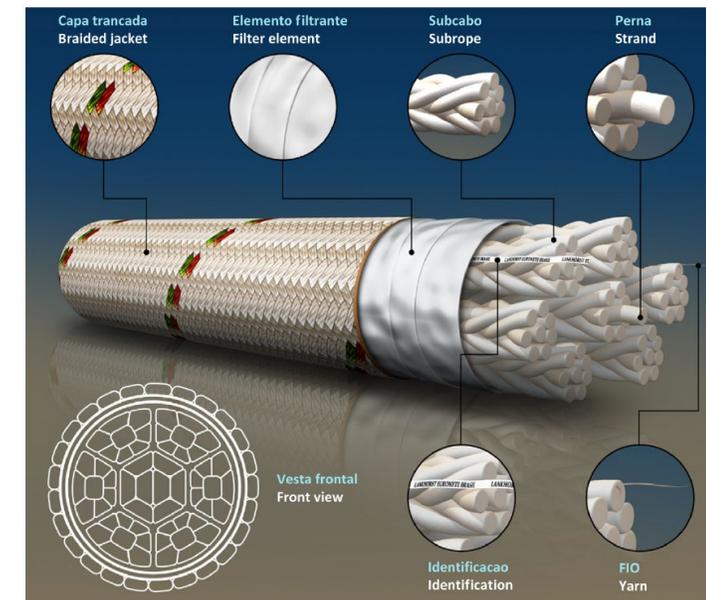
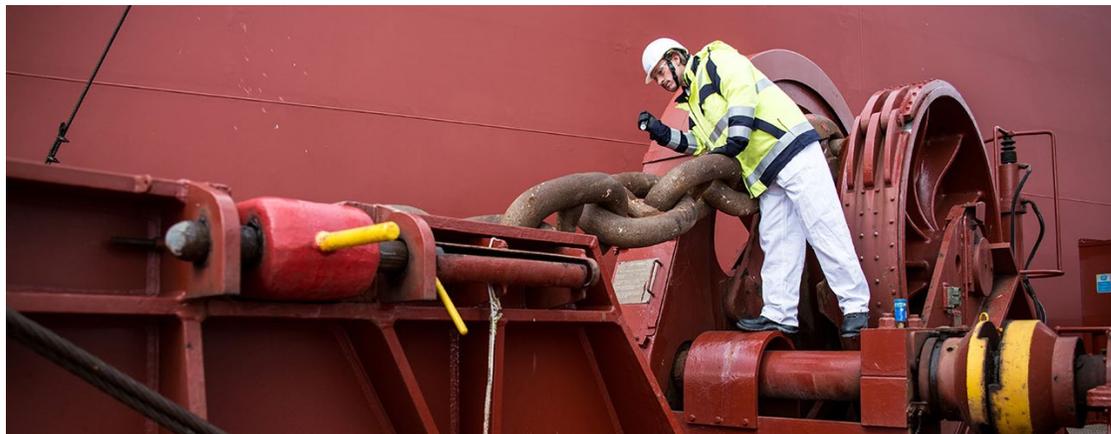
- Poliéster; Polietileno; Poliamida
- Baixo custo e baixo peso linear; em águas profundas ocupa uma área menor do solo (taut-leg)
- Baixa resistência a abrasão



O SISTEMA DE ANCORAGEM – LINHAS DE ANCORAGEM

Linhas de Ancoragem - Materiais

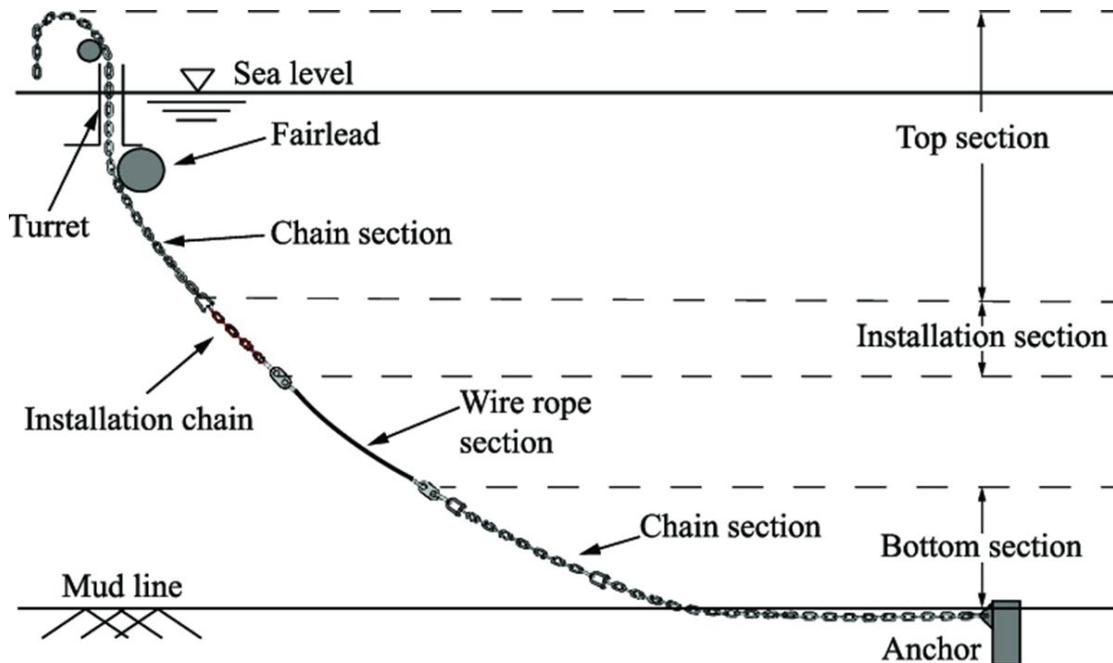
Material	Diâmetro	Tração de Ruptura
Cabo Sintético	80 a 250 mm	Até 2500 ton
Cabo de Aço	40 a 250 mm	Até 2000 ton
Corrente	50 a 220 mm	Até 4000 ton



O SISTEMA DE ANCORAGEM – LINHAS DE ANCORAGEM

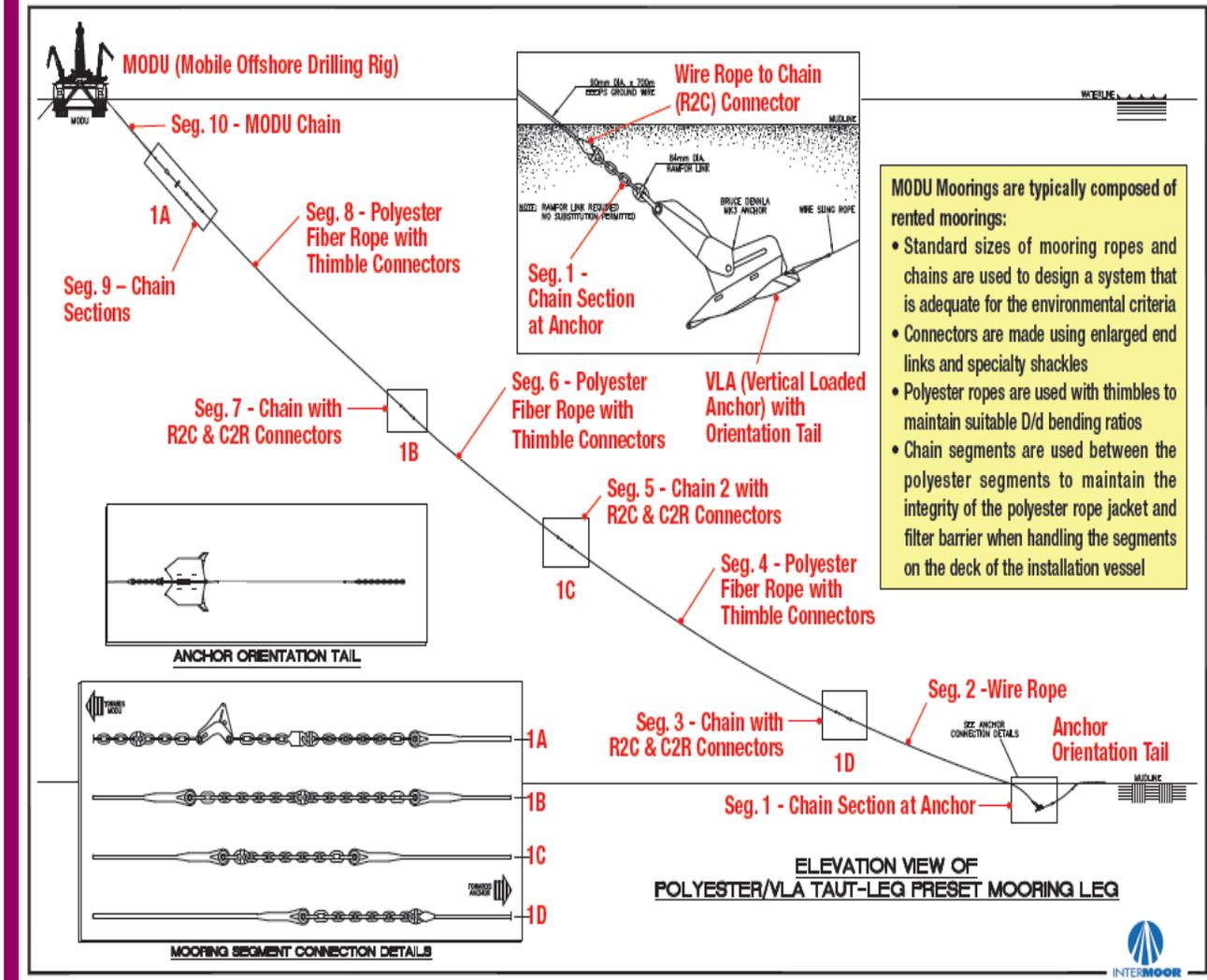
Linhas de Ancoragem - Características

- Corpo esbelto
- Nenhuma ou baixa Rigidez à Flexão
- Baixa ou nenhuma capacidade de resistir Compressão Axial
- Os materiais podem ser combinados para formar uma linha de múltiplos segmentos



OFFSHORE MOORING LINES – SAMPLE ASSEMBLIES

Fig. 1: Elevation View of Polyester VLA Taut-Leg Preset Mooring Leg (Temporary Mooring)



O SISTEMA DE ANCORAGEM – ÂNCORAS

Âncoras

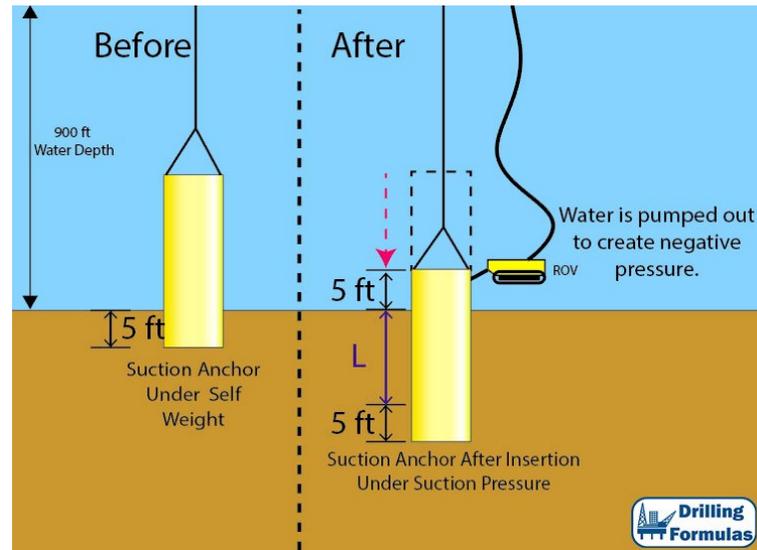
- Âncoras de Arrasto (Drag Embedment Anchors):
 - Opção tradicional; de fácil instalação; baixa resistência a forças verticais (uplift)
- Estacas ou Pilares (Pile Anchor):
 - Resiste a cargas verticais e laterais
- Âncoras de Sucção (Suction Anchors):
 - Suporta cargas elevadas de ancoragem; suporta cargas verticais; mais difíceis de instalar
- Placa ou VLA (Plate Anchors or VLA – Vertical Loaded Anchor):
 - Embutidas no solo como as âncoras de arrasto; suportam cargas verticais



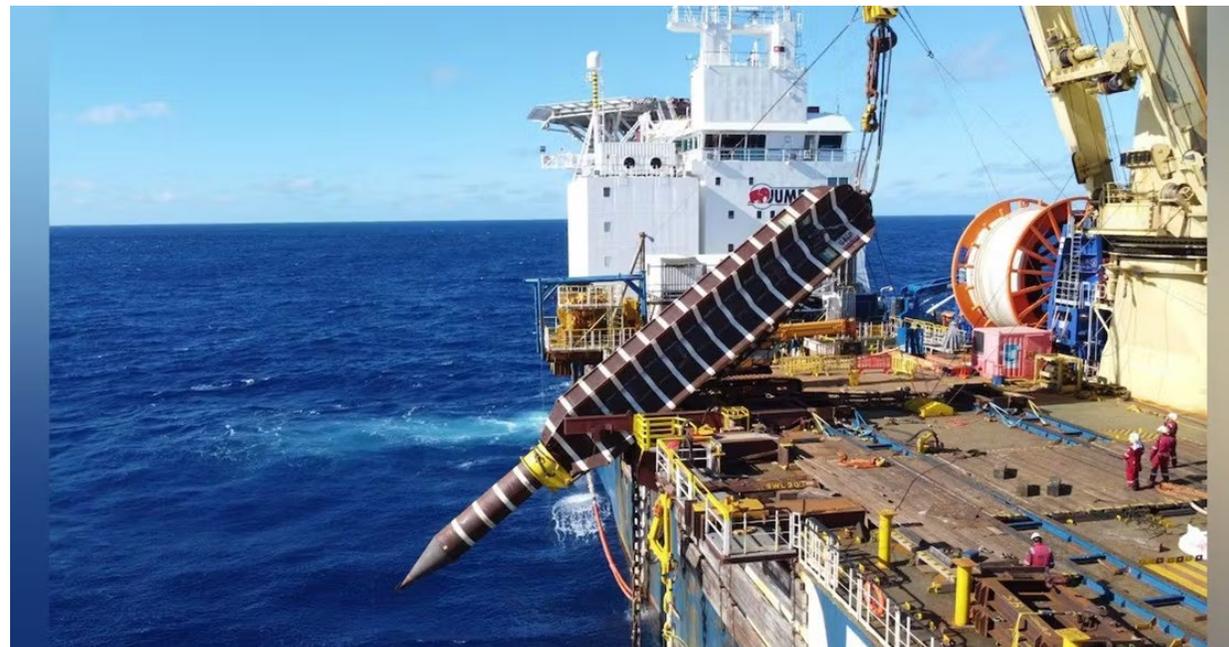
O SISTEMA DE ANCORAGEM – ÂNCORAS



Ancora de Sucção



Ancora VLA

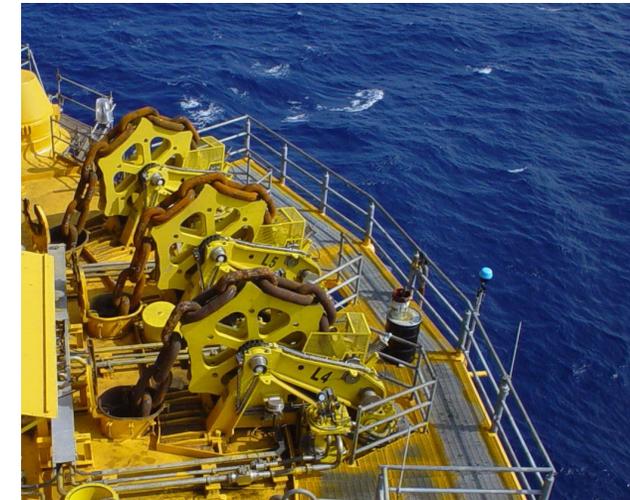
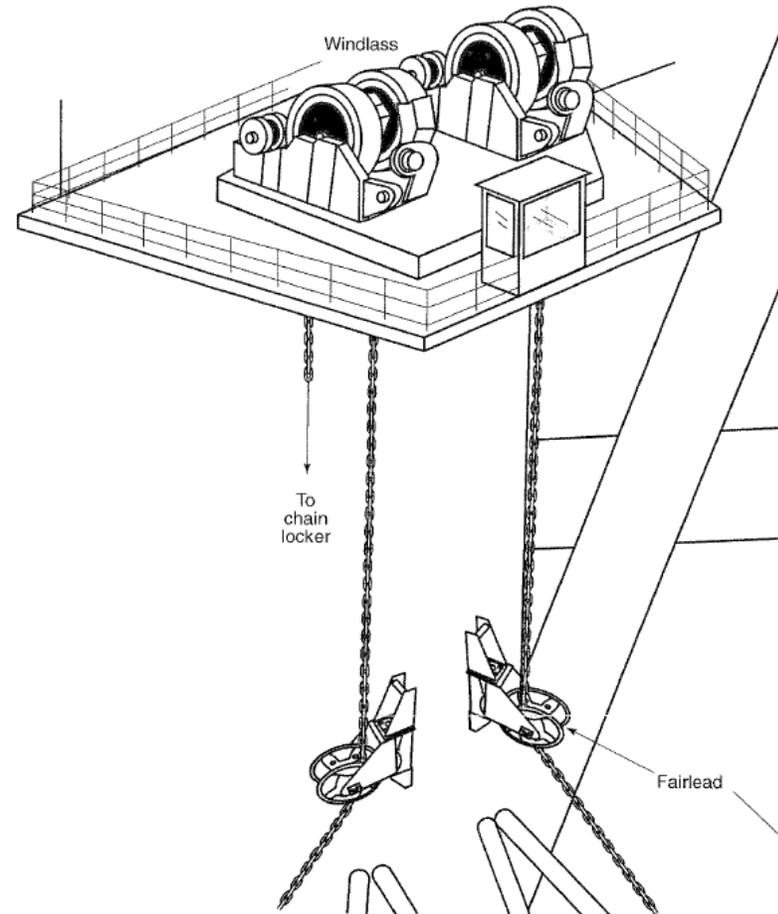
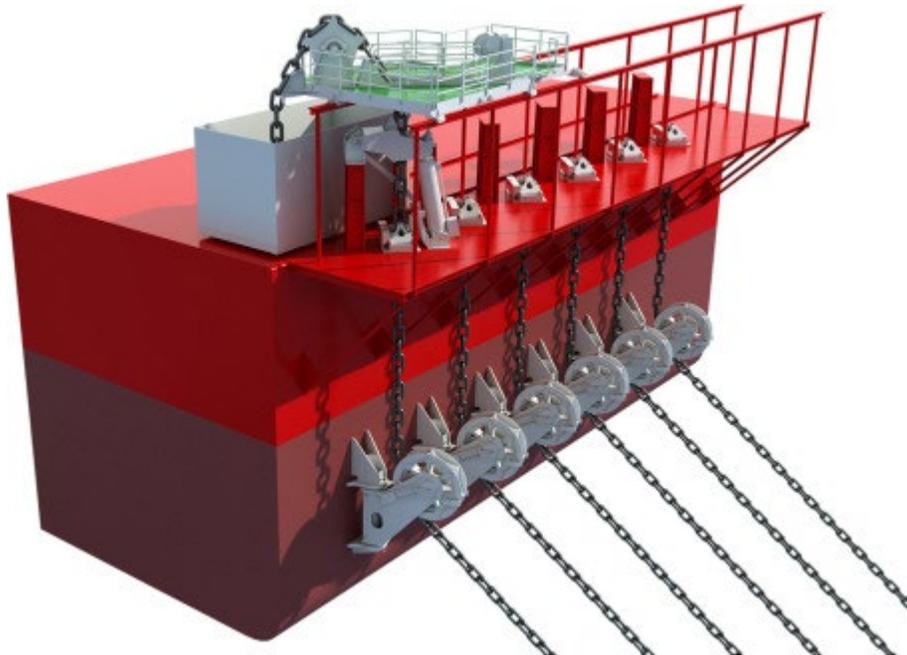


Estaca Torpedo

O SISTEMA DE ANCORAGEM – GUINCHOS

Guinchos

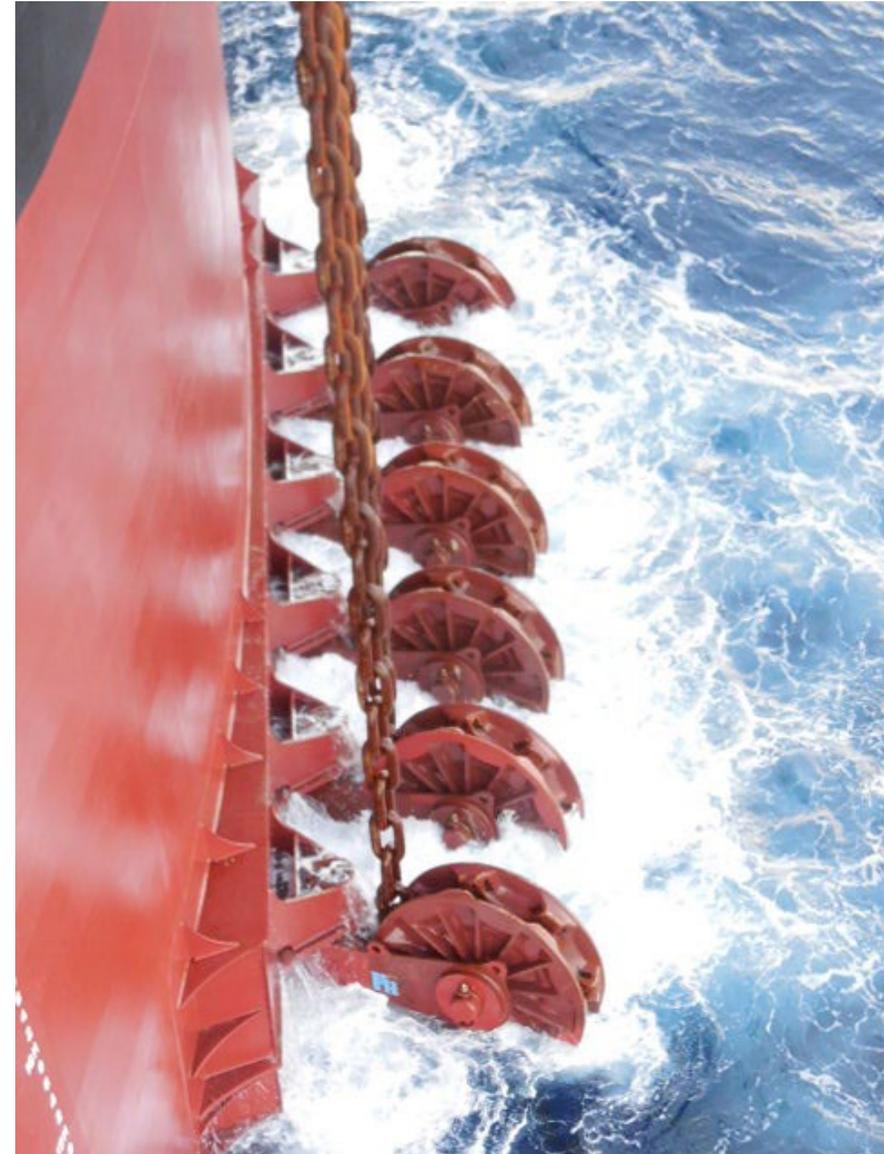
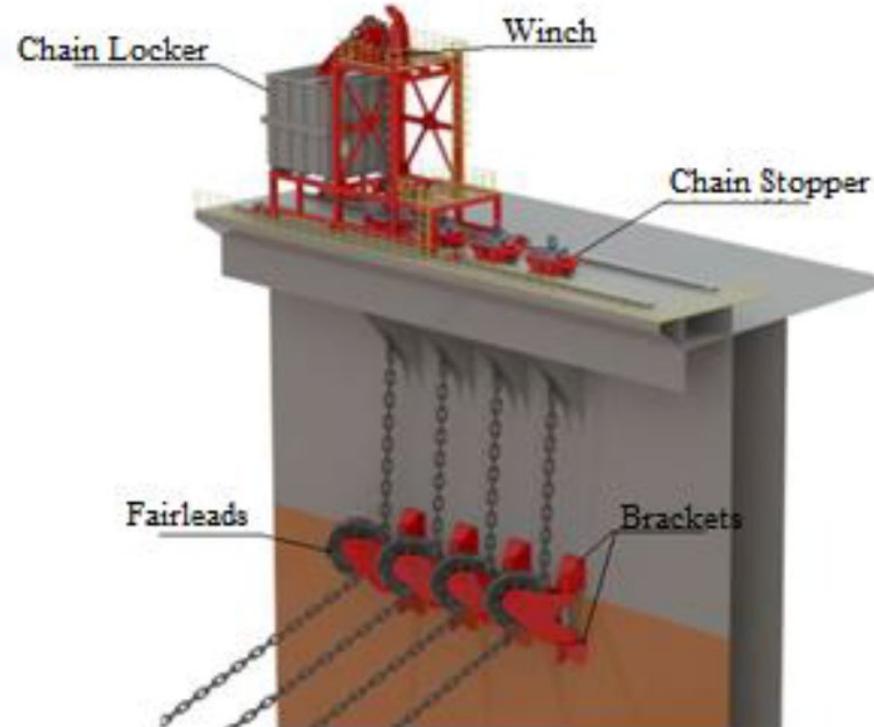
- Guincho de cabo (Winch):
 - Para manuseio e tracionamento de cabos de aço
- Guincho de corrente (Windlass):
 - Para manuseio e tracionamento de correntes



O SISTEMA DE ANCORAGEM – FAIRLEAD

Fairlead

- Roldanas que guiam os cabos e as correntes para os guinchos
- São normalmente instalados nas colunas de semi-submersíveis e no costado de FPSOs

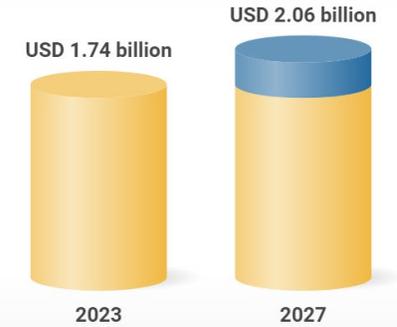


O SISTEMA DE ANCORAGEM – MERCADO



Global Offshore Mooring Systems Market

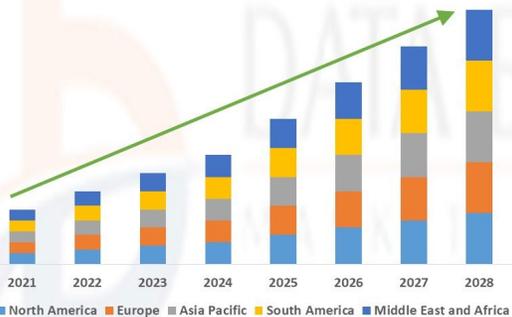
Market forecast to grow at CAGR of 4.3%



<https://www.researchandmarkets.com/reports/5785607>

RESEARCH AND MARKETS
THE WORLD'S LARGEST MARKET RESEARCH STORE

Global Offshore Mooring Systems Market is Expected to Account for USD USD 3,038.81 Million by 2028



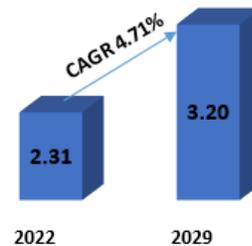
Global Offshore Mooring Systems Market, By Regions, 2021 to 2028



DATA BRIDGE MARKET RESEARCH



Offshore Mooring Systems Market



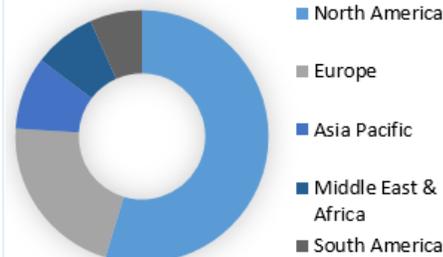
Market Size in US\$ Billion

Key Players

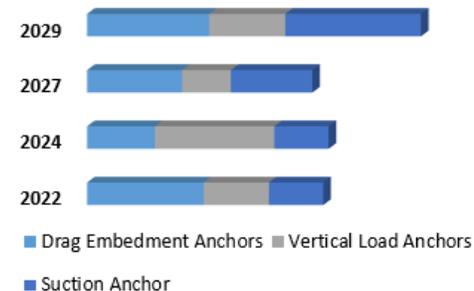
SBM offshore NV
Grup Servicii Petroliere
BW Oshore Ltd
FMC Technologies Inc
Trelleborg Marine Sys
Mooring Systems Inc
Mampaey Oshore
Industries BV
Timberland Equipment
Delmar Systems

Blue Water Energy Ser/
LHR Services &
Equipment
Rigzone Mooring Sys
Lamprell Energy Ltd.
Advanced Production
and Loading
Scanalindustrier ASA
Offspring International
Balltec Limited

Regional Analysis in 2022 (%)

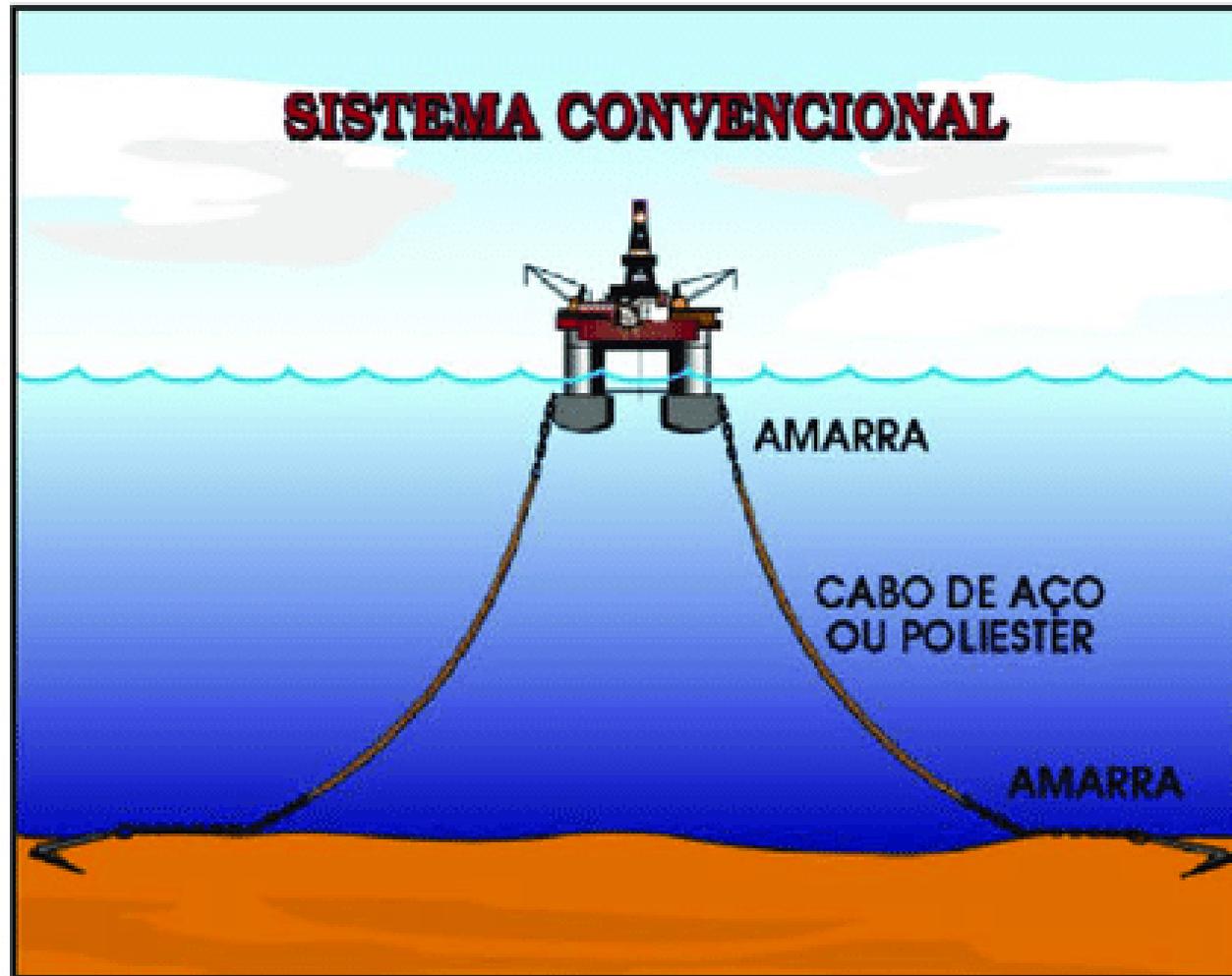


Anchor Type Segment Overview



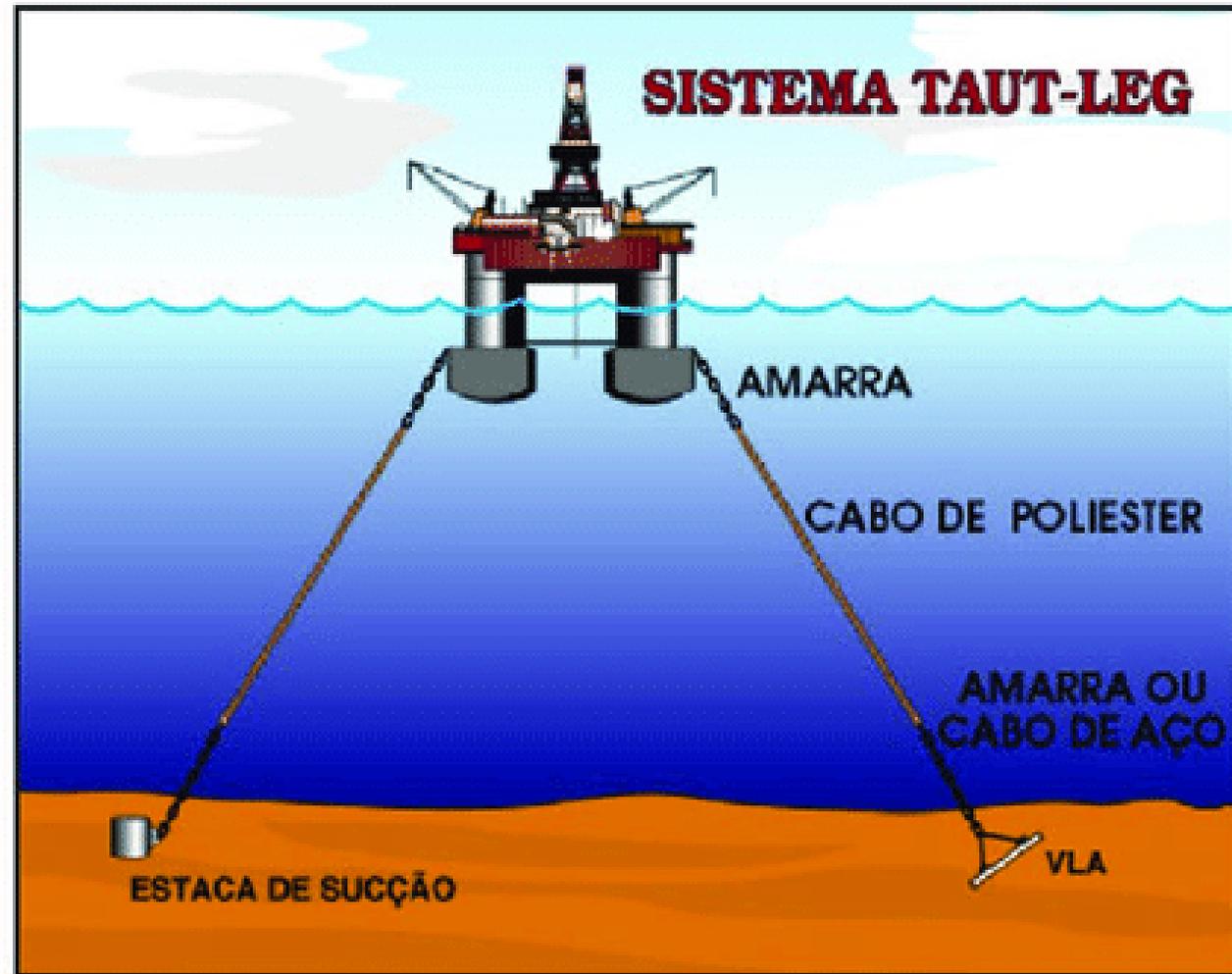
O PROJETO E ANÁLISE DO SISTEMA DE ANCORAGEM

SISTEMA CONVENCIONAL



Sistema convencional (em catenária)

SISTEMA TAUT-LEG

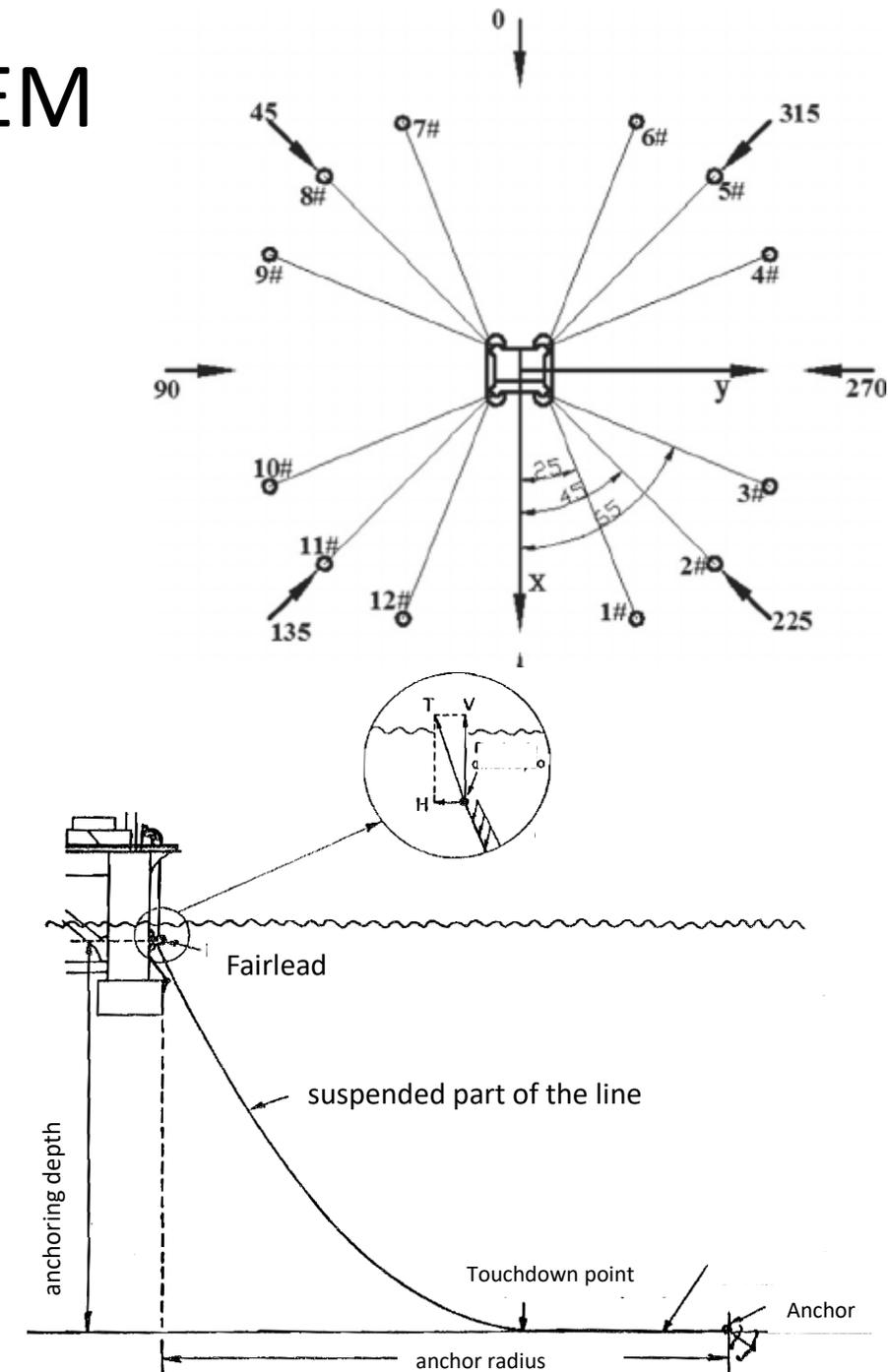


Sistema para ancoragem vertical

O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

Objetivos do Projeto - Definir e Especificar:

- Número de Linhas de Amarração
- Arranjo (Pattern) do Sistema de Ancoragem
 - como as linhas são distribuídas ao redor da plataforma
- Configuração Geométrica de cada Linha
 - raio de ancoragem; comprimento total; comprimento de cada segmento
- Tipo e Dimensões dos Materiais usados em cada Linha
 - diâmetro; tração de ruptura
- Pré-tensão em cada linha
- Tipo, tamanho e posição das âncoras
- Tipo, capacidade e características dos acessórios e hardware de convés

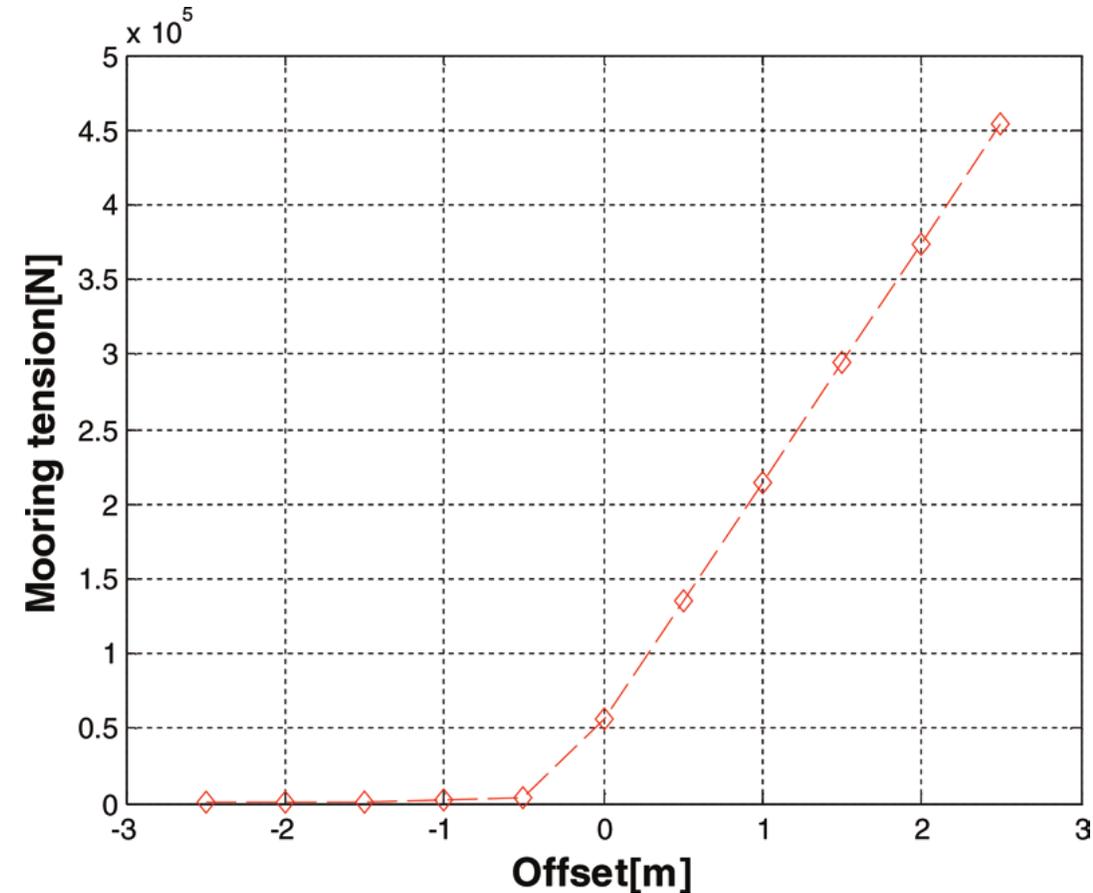


O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

O Projeto do Sistema de Ancoragem deve satisfazer pelo menos os seguintes requisitos e critérios:

- Offset máximo da Plataforma Flutuante
- Tensão máxima nas Linhas de Ancoragem
- Carga máxima nas Âncoras
- Comprimento mínimo de linha apoiado no solo
- Vida a Fadiga mínima da Linha e seus componentes
- Carga máxima nos Acessórios e Hardware de convés

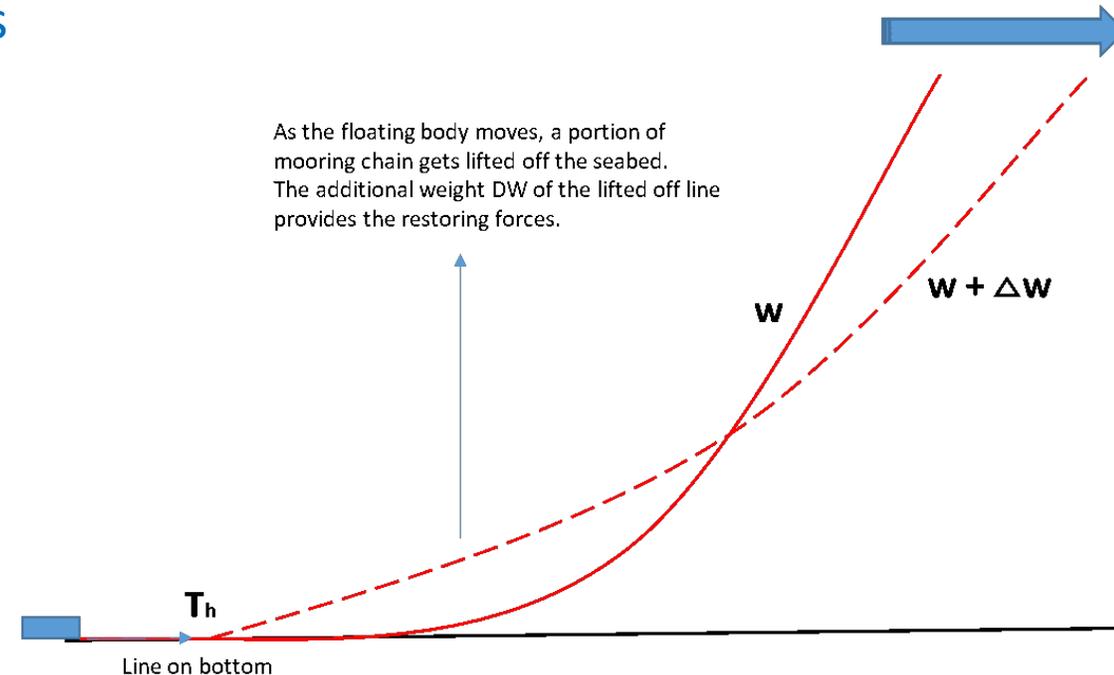
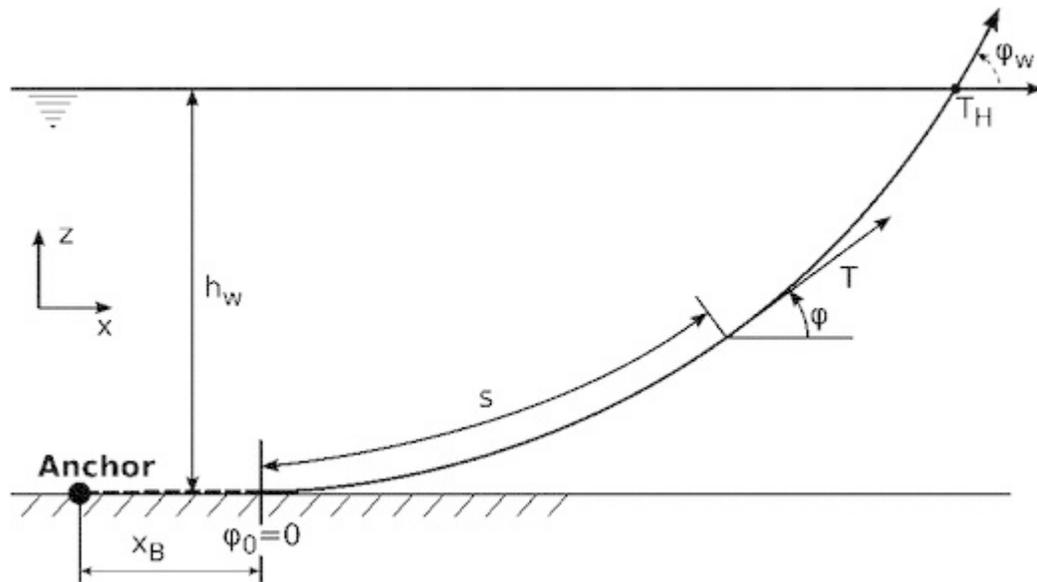
A determinação de todos estes valores depende do Cálculo das Tensões ao longo das Linhas de Ancoragem



O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

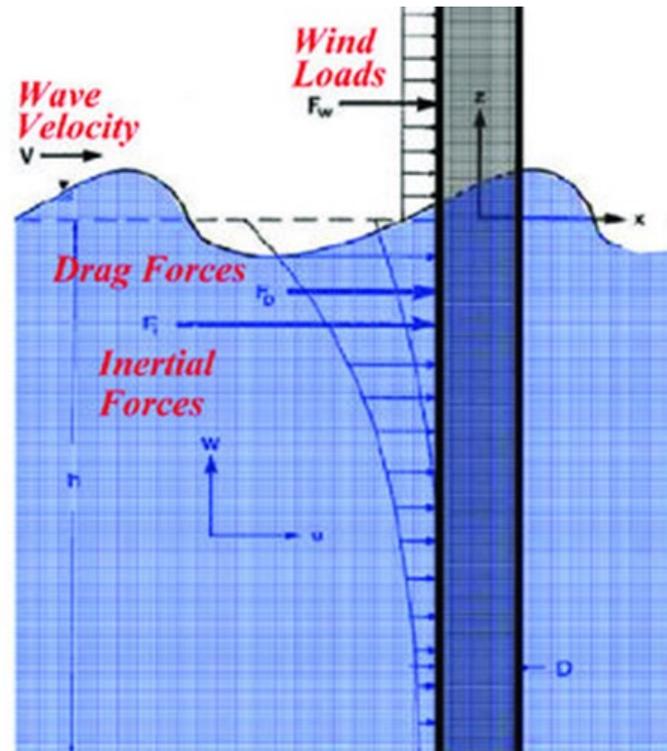
O Carregamento sobre o Sistema de Ancoragem e suas Linhas

- As Tensões nas Linhas são devidas principalmente aos **Movimentos Impostos ao Ponto de Amarração** pela movimentação da plataforma causada pelas forças e momentos ambientais agindo na plataforma.
- Os Movimentos da Plataforma são causados pelas cargas ambientais devidas à incidência das Ondas, do Vento e da Correnteza sobre a Plataforma.

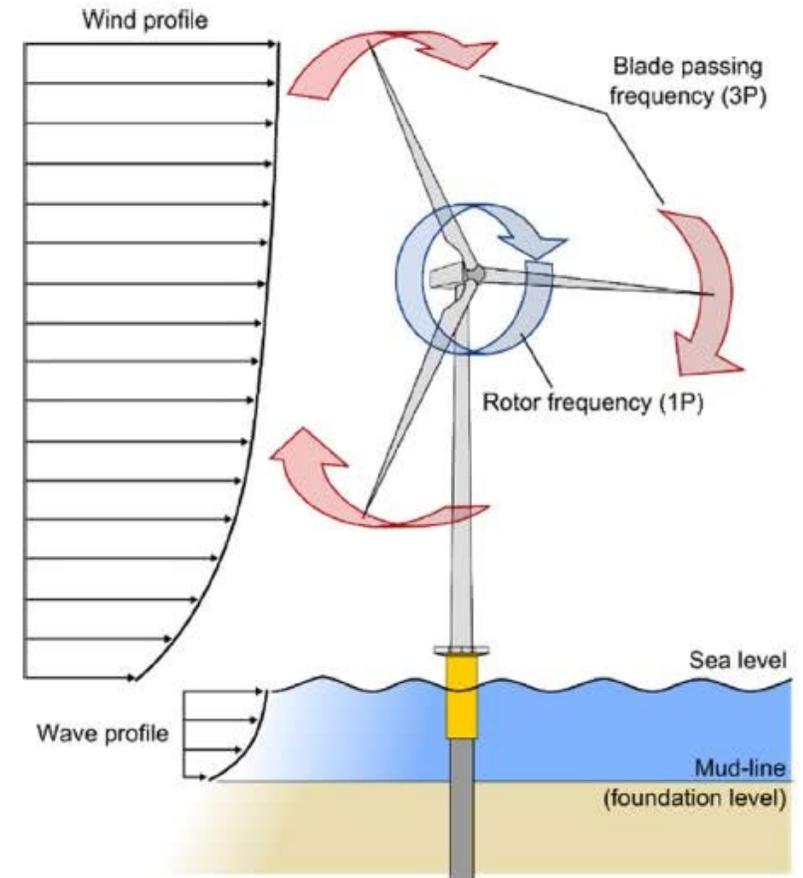


O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Ação Ambiental



Correnteza



Vento

Ondas

O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Ação Ambiental

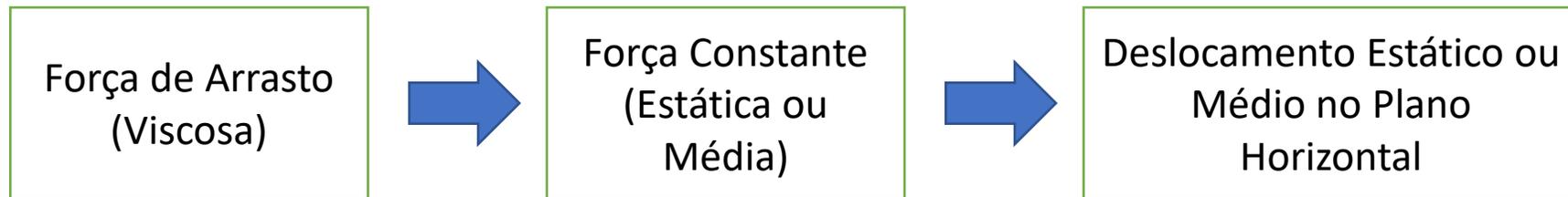
Para efeitos do projeto do sistema de ancoragem admite-se que:

- Ação do vento e correnteza:
Produzem na Plataforma apenas forças paralelas ao plano horizontal e momentos em torno do eixo vertical.
Portanto induzem movimentos de corpo rígido da Plataforma apenas no plano horizontal (translação e rotação).
- Ação das ondas:
Provoca forças e momentos em todas as direções possíveis e movimentos da Plataforma nos 6 graus de liberdade.

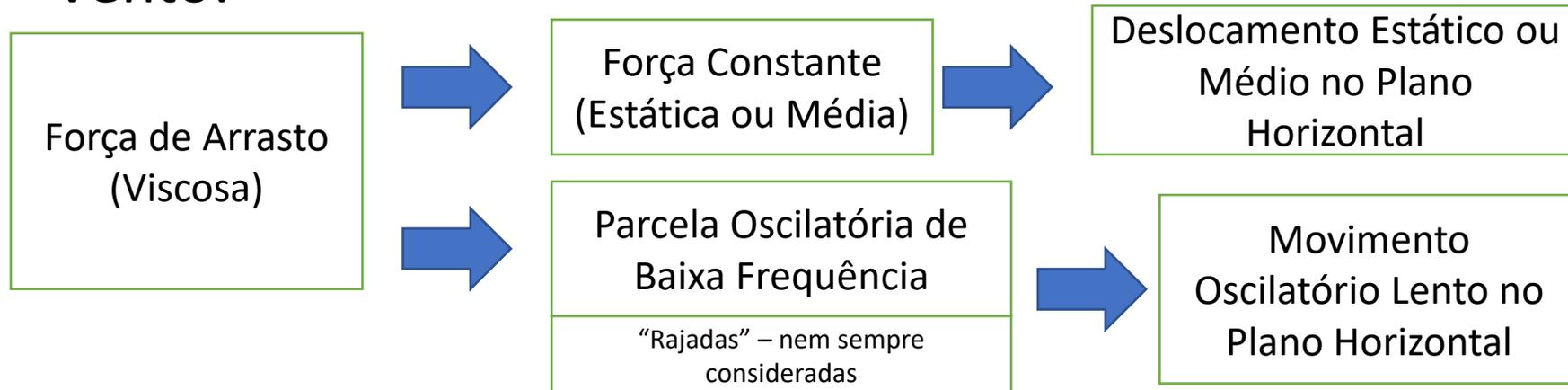
O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

Resposta a Ação do Vento e Correnteza

- Correnteza:



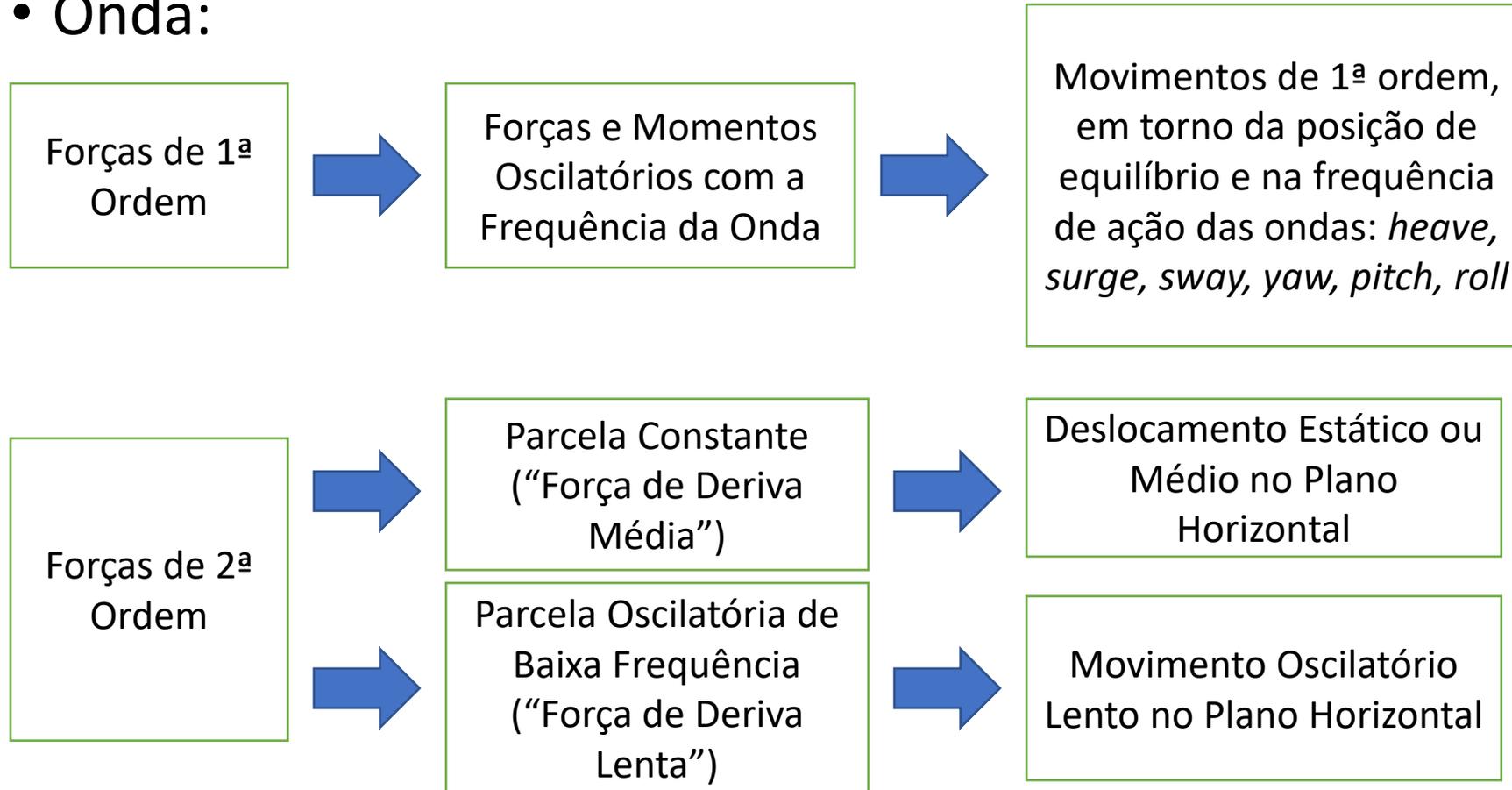
- Vento:



O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

Resposta a Ação das Ondas

- Onda:

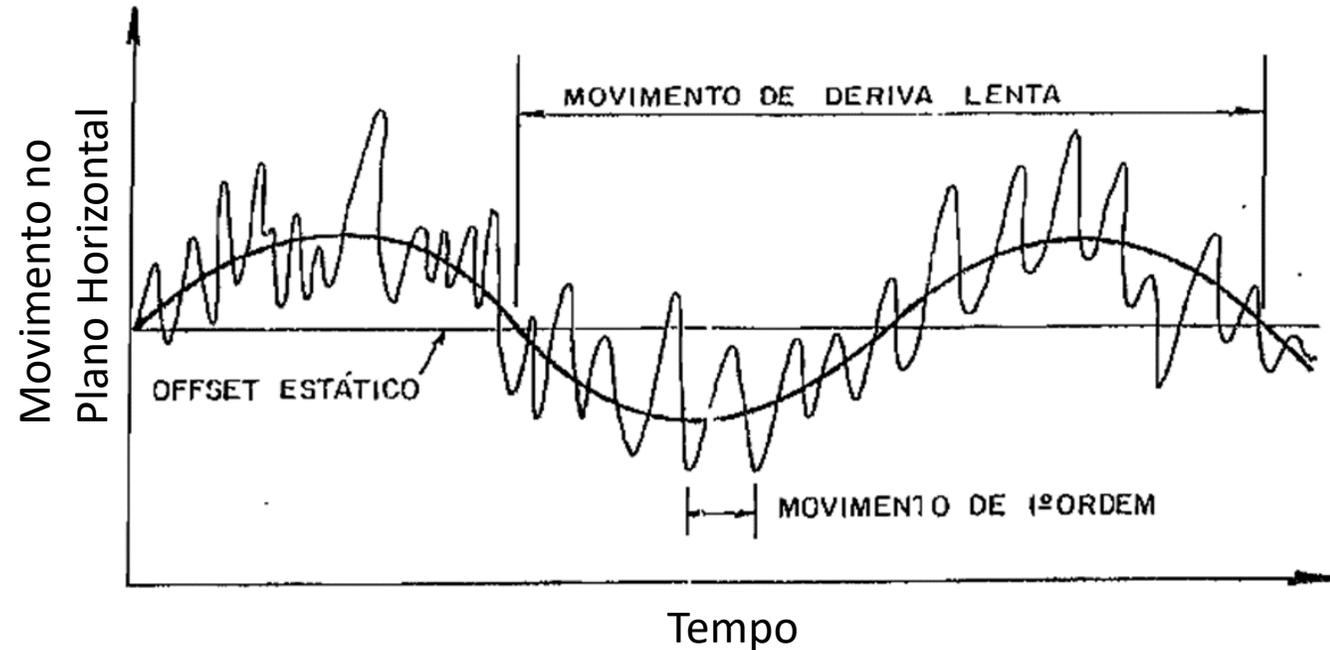


O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Resposta da Plataforma a Ação Ambiental

Portanto, a Resposta da Plataforma às Forças Ambientais pode ser dividida nas seguintes componentes:

- Deslocamento Estático (ou médio) no Plano Horizontal devido às Forças Ambientais Estáticas (ou médias) provenientes da ação dos ventos e da correnteza e da Força Média de Deriva proveniente da ação das Ondas (força média de Segunda ordem das Ondas). Depende da Rigidez do Sistema de Ancoragem;
- Movimento de Baixa Frequência no Plano Horizontal (surge, sway e yaw), com período típico entre 1 e 10 minutos, devido às forças de vento de baixa frequência e às forças de segunda ordem (forças de deriva lenta) das ondas. Depende da Rigidez do Sistema de Ancoragem;
- Movimentos (heave, surge, sway, roll, pitch, yaw) na Frequência das Ondas (períodos entre 5 a 30 seg) devidos às forças de primeira ordem das ondas

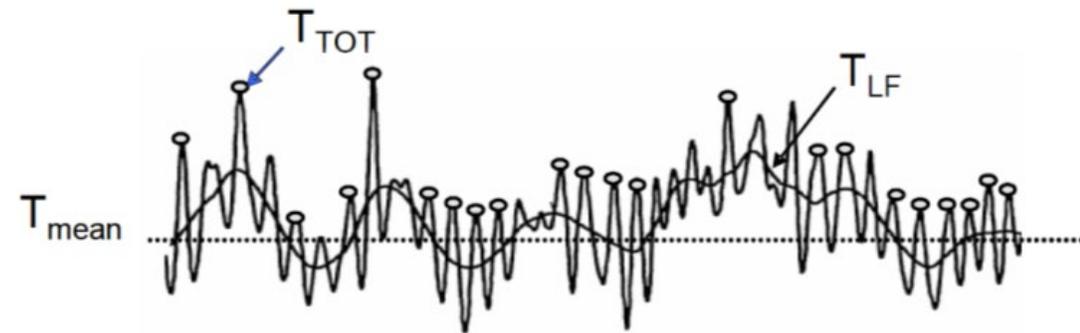


O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Resposta do Sistema de Ancoragem e suas Linhas

- ▶ Duas Abordagens mais Básicas
- ▶ A Resposta do Sistema e de suas Linhas ao Deslocamento Estático ou Médio, devido às Forças Ambientais Médias, pode ser prevista pelas equações estáticas da catenária.
- ▶ A Resposta aos movimentos de baixa frequência pode usualmente ser calculada empregando-se também as equações estáticas da catenária, devido ao longo período destes movimentos (as velocidades e acelerações são baixas).
- ▶ A Resposta das Linhas aos movimentos da Plataforma na frequência das Ondas (movimentos de 1ª ordem), podem ser calculados empregando-se uma abordagem Quase-Estática ou uma Análise Dinâmica.
- ▶ As Tensões Totais ou Máximas nas Linhas podem então ser determinadas por uma combinação estatística adequada das respostas acima.

Time series – mooring line tension



O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

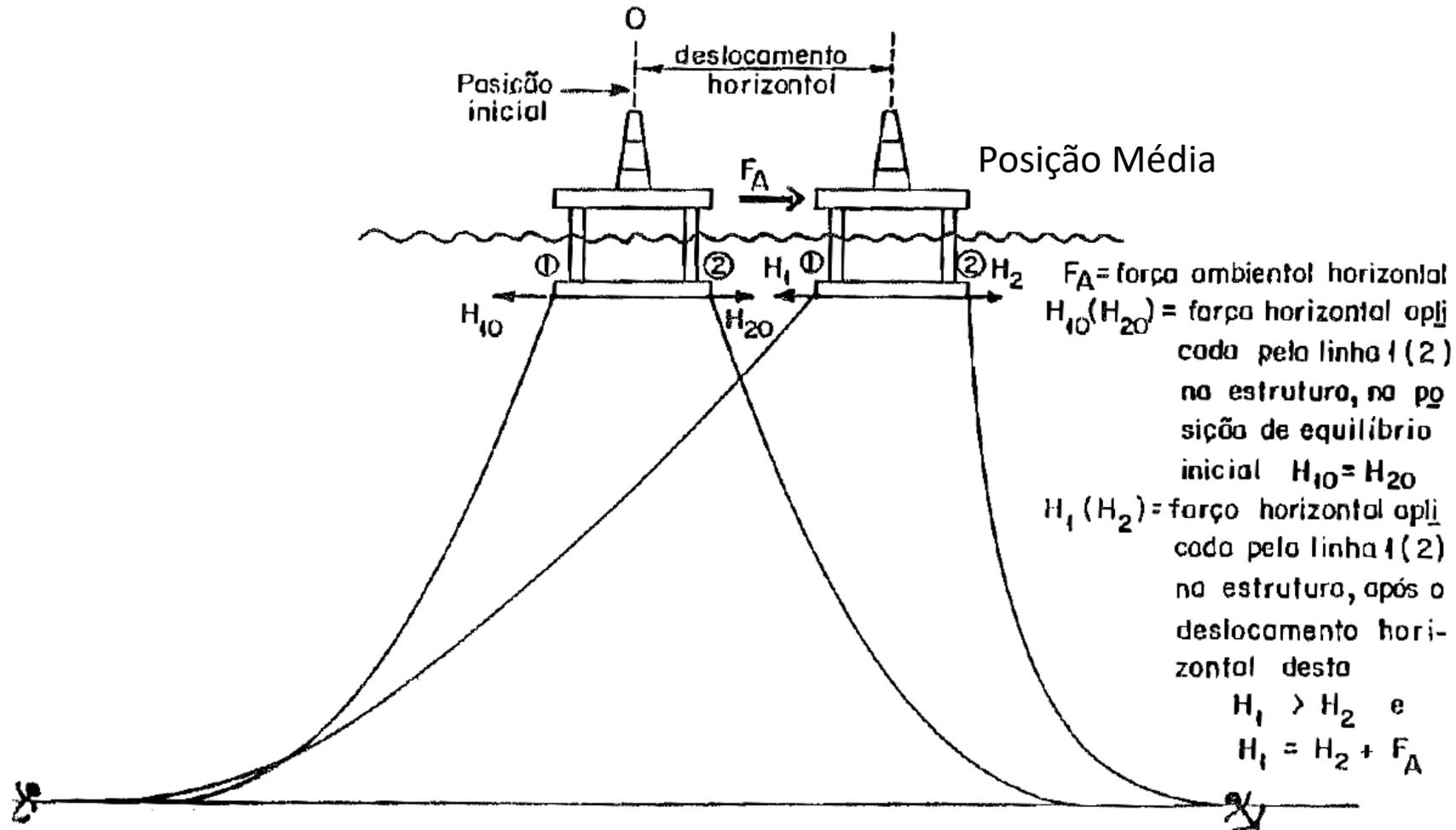
A Resposta do Sistema de Ancoragem e suas Linhas

- ▶ **Abordagem Quase-Estática:** Nesta abordagem, a resposta das linhas aos movimentos de 1ª ordem da plataforma é calculada deslocando-se estaticamente o ponto de amarração no plano horizontal pelo valor da amplitude do movimento horizontal de 1ª ordem. Esta abordagem é adequada para os estágios iniciais de projeto.
- ▶ **Análise Dinâmica:** Pode ser feita no domínio do tempo ou da frequência. A resposta dinâmica é calculada impondo-se os movimentos de 1ª ordem do Fairlead nas equações de equilíbrio dinâmico da Linha de Ancoragem. A Análise Dinâmica deve ser aplicada para uma avaliação final do Sistema de Ancoragem.

O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Resposta do Sistema de Ancoragem e suas Linhas - Análise Quase-Estática e Dinâmica

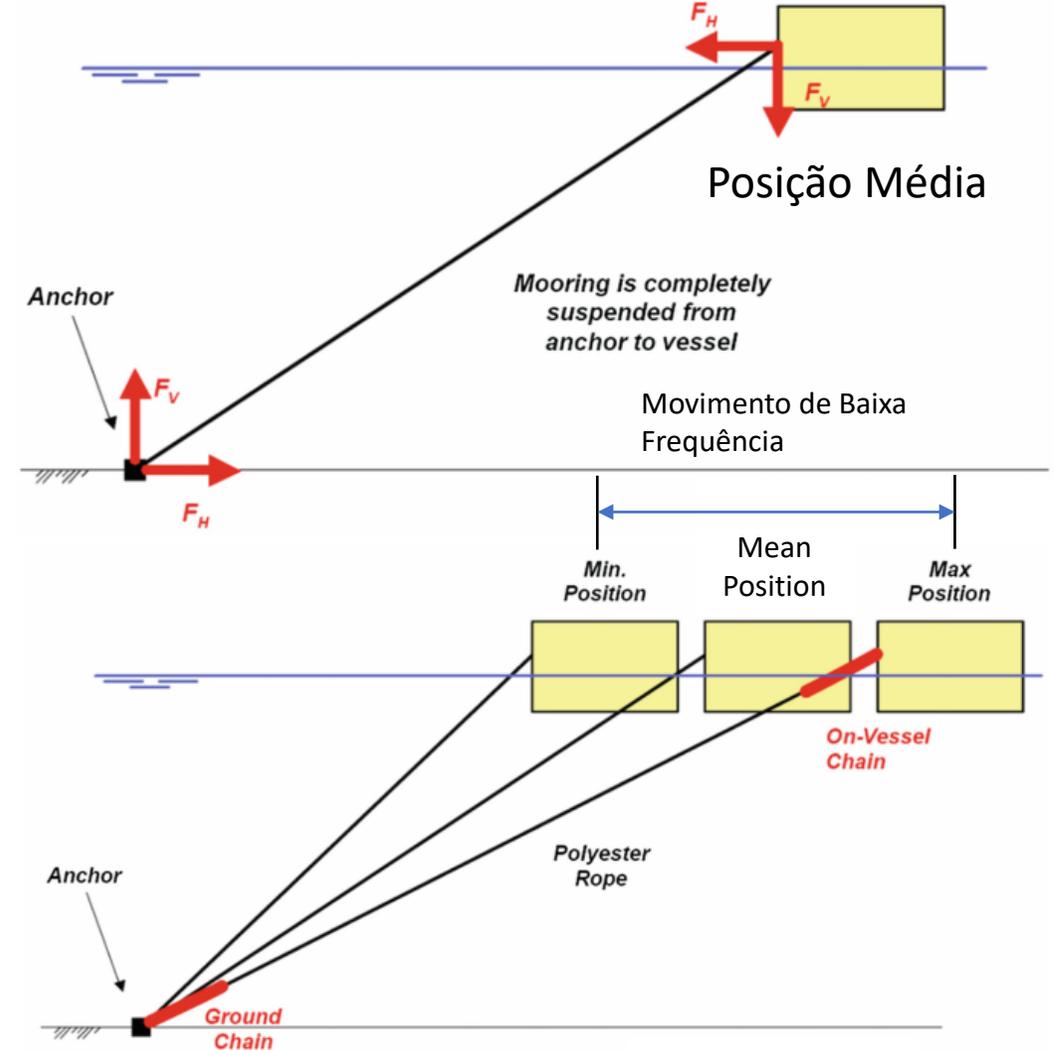
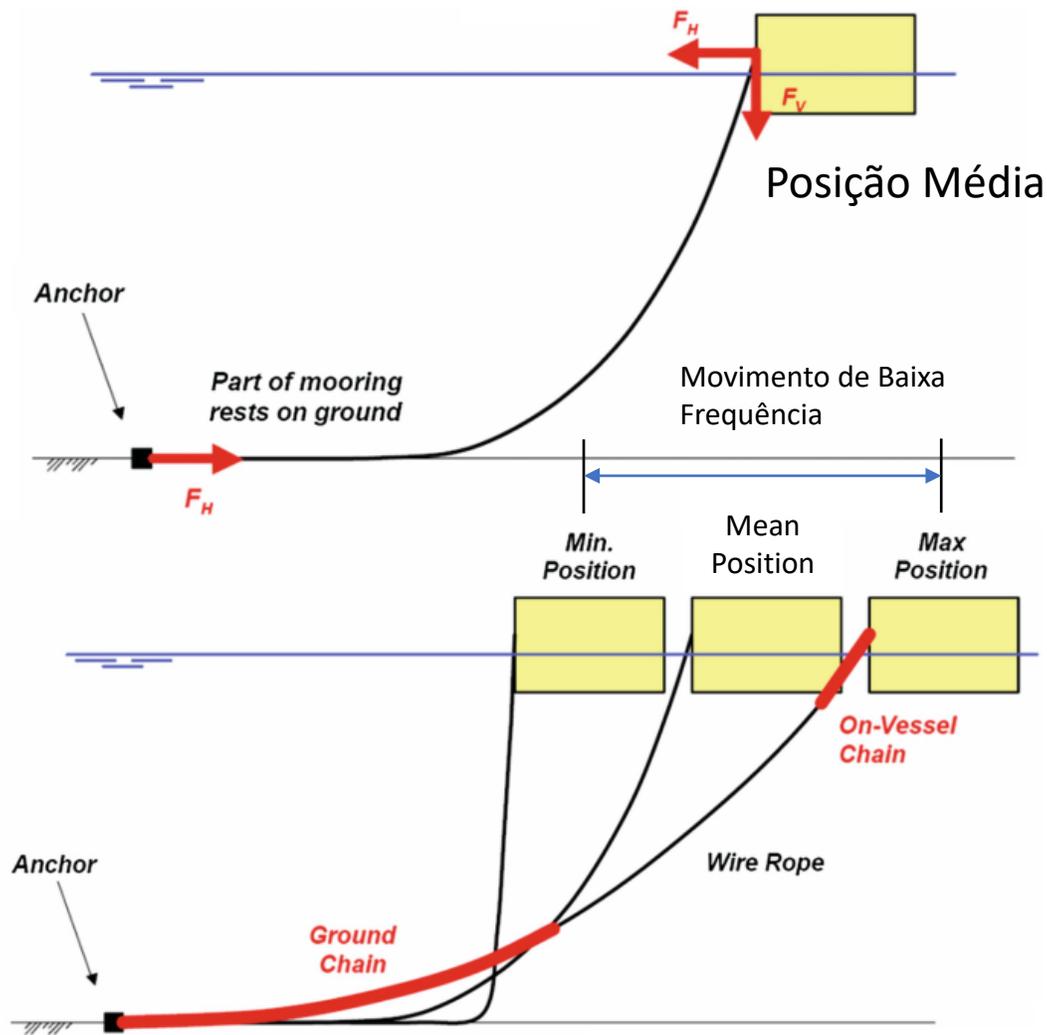
A Resposta ao Deslocamento Estático (vento, onda e correnteza)



O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Resposta do Sistema de Ancoragem e suas Linhas - Análise Quase-Estática e Dinâmica

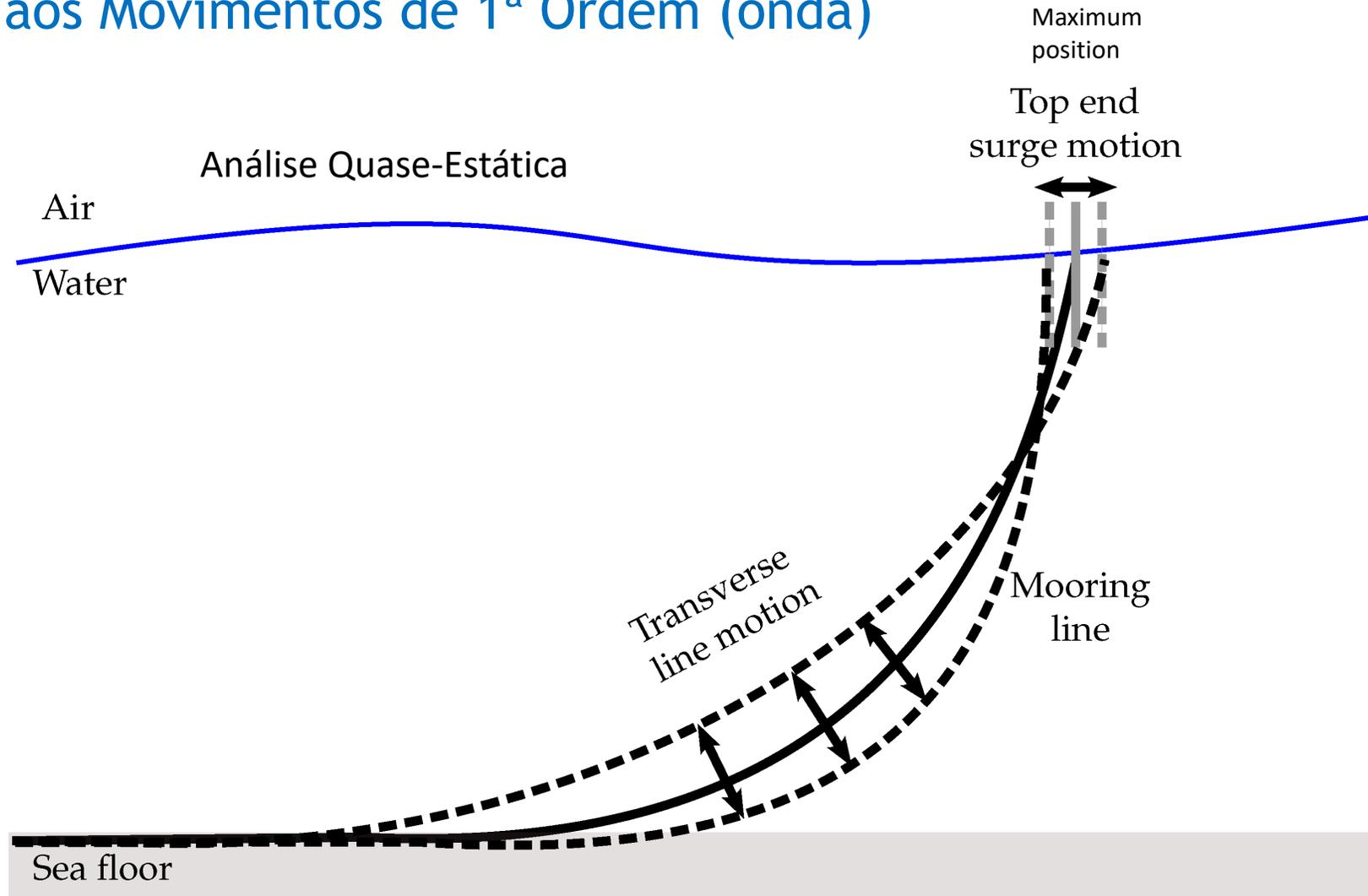
A Resposta aos Movimentos de Deriva Lenta ou Baixa Frequência (vento e onda)



O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Resposta do Sistema de Ancoragem e suas Linhas - Análise Quase-Estática

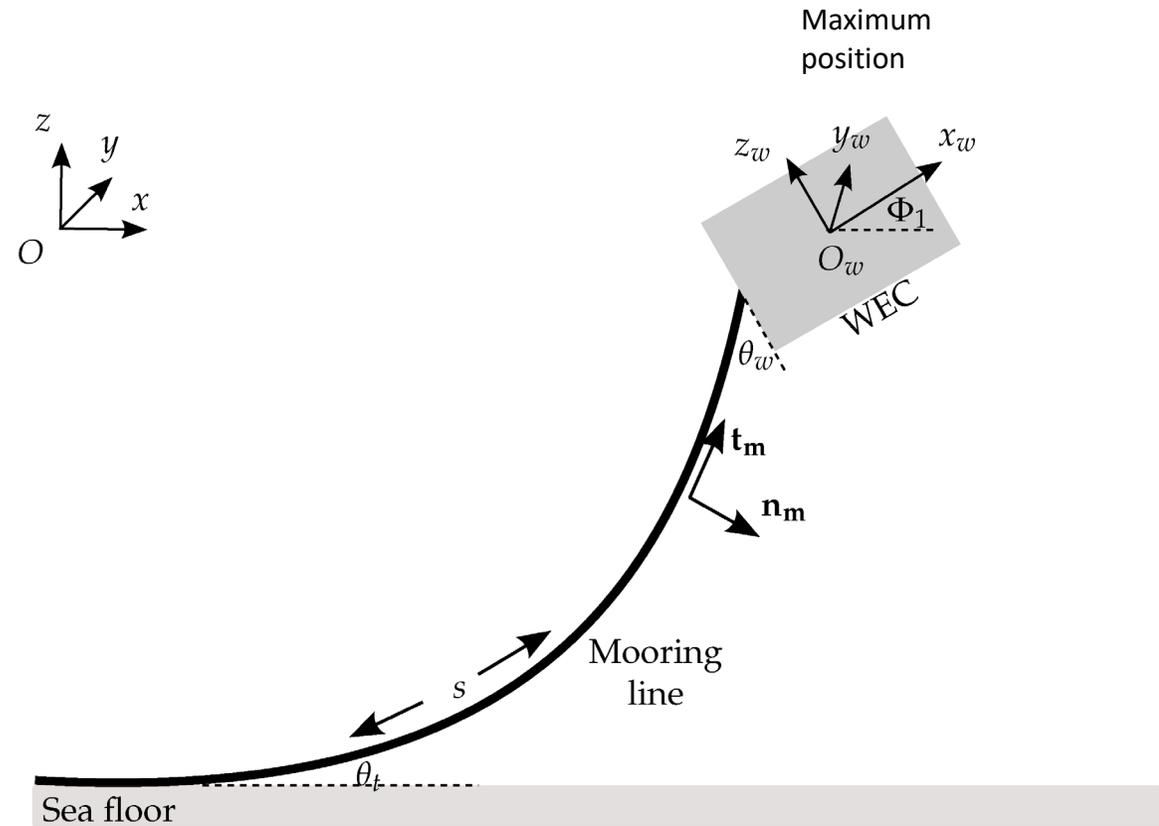
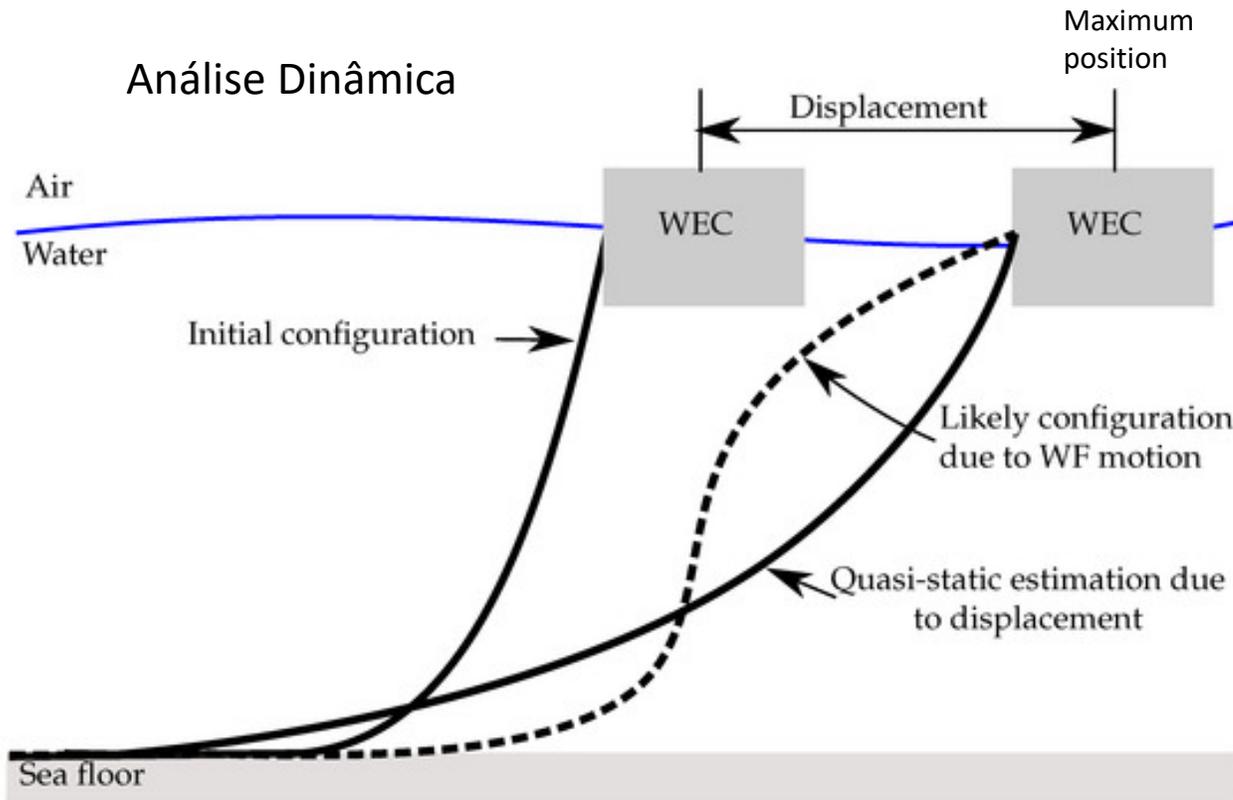
A Resposta aos Movimentos de 1ª Ordem (onda)

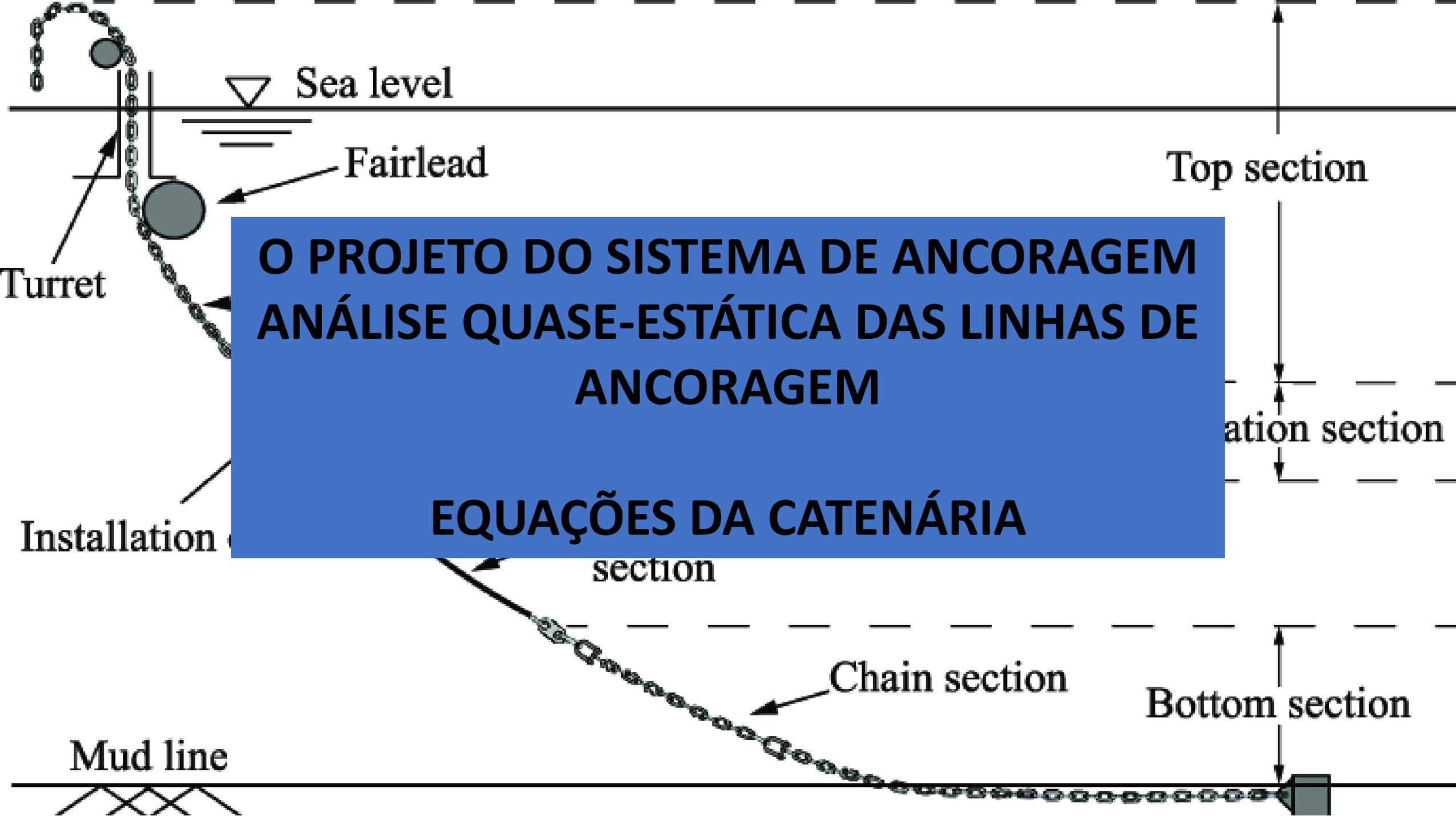


O PROJETO DO SISTEMA DE ANCORAGEM

A Resposta do Sistema de Ancoragem e suas Linhas - Análise Dinâmica

A Resposta aos Movimentos de 1ª Ordem (onda)





FIM