

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análise da capacidade de carga de uma estaca de sucção em relação à redução de seu comprimento e simulação de sua instalação em solo marinho

AUTORES:

Claudiney Cleto - Graduando
Filipe Ferreira – Graduando
Gleiciane Cardoso dos Santos - Graduanda
Jardel Lara - Graduando
Rafaela da Silva Andrade - Graduanda
Ramon Garcia Borges - Graduando
Carolina Rocha Luiz Vianna – Orientadora
Fábio de Souza – Coorientador

INSTITUIÇÃO:

Centro Universitário de Barra Mansa - UBM

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba-PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8ºPDPETRO.

Análise da capacidade de carga de uma estaca de sucção em relação à redução de seu comprimento e simulação de sua instalação em solo marinho

Abstract

Suction piles are hollow steel tubes, closed at one end and open up at the other and are highly used in anchoring systems in the oil industry. The application of suction anchors undoubtedly contribute to the offshore activities and represent an alternative widely applied in specific work situations while its versatility is one of the strengths that makes it be well accepted. In the developing of this experiment was simulated the operation of the equipment, with the purpose of observing its fixing system to the seabed. These are forced into the seabed by means of a pump connected to the top of the tube, creating a difference of pressure. During the water aspiration inside the anchor, we can note that the pressure inside the tube is smaller than outside, causing the aspiration of the anchor into the soil and after installation, the pump is removed. The suction pile can bear both horizontal and vertical forces. To verify the charge retention capacity, its behavior was analyzed during the variation in its length by laboratory tests. By analyzing the data obtained through the tests related to behavior of the anchor's retention forces due to the reduction of its length, it was observed a falling behavior in its ability in higher proportions than compared to percentage reduction of its length, probably caused by the tendency condition, which the drawing forces were applied. Analyzing the necessary forces required for moving, it was found a linear tendency decreasing these forces in the tested stretch length reduction. In the applied force system in an leaning angle as were the tests, for each level of lengths reduction, a soil layer was eliminated which was previously served in the system offering a resistance to strain force applied to the cable. However each Anchor's reduction length is related to a different soil layer in terms of extension and therefore, different strength loss for each level tested.

Introdução

A exploração em ambiente marinho se depara com vários obstáculos que devem ser constantemente superados, como por exemplo, a distância da unidade em relação à costa, lâminas d'água de grande profundidade, correntes marinhas, ondas, ventos entre outros. (Valadão, 2011; Braga, 2009) Um dos pontos mais importantes para a instalação de uma unidade flutuante e a sua permanência segura em seu local, é a aplicação de um sistema de ancoragem eficiente. Existem vários tipos de ancoragem disponíveis, como a ancoragem em catenária, taut-leg e ancoragem vertical, como há também uma variação de tipos de âncoras, como a âncora de arraste, estacas, como a de sucção e âncora vertical, entre outras. Porém é preciso que se faça a escolha certa para cada tipo de condição a que a unidade flutuante será exposta. (Jacovazzo, 2006)

O sistema de ancoragem é um conjunto de elementos estruturais que tem a capacidade de fazer com que uma unidade flutuante possa permanecer em posição de equilíbrio através de linhas de ancoragem que fazem a ligação da unidade às fundações, transmitindo assim as cargas ao solo marinho, cujos dispositivos de âncora nele estão instalados. (Lacerda, 2005)

Estacas de sucção são dispositivos que são empregados na indústria do petróleo com grande êxito, pois apresentam uma série de vantagens sobre outras âncoras, sendo de fácil instalação e remoção. Devido ao sistema de instalação da estaca, esta apresenta uma boa capacidade de suportar cargas com componentes horizontais e verticais, tornando-se uma alternativa muito difundida entre os sistemas de

ancoragem (Colliat, 2002) e são utilizadas em águas ultraprofundas, nos sistemas que requerem sistemas de ancoragem tensionados ou semi tensionados pré-fixados, como por exemplo, aplicação em sistemas de ancoragem *Taut-Leg*. (Colliat, 2002; Tjelta, 2001)

Este sistema utiliza um tubulão de sucção como âncora, tem formato cilíndrico com a extremidade inferior aberta. A incrustação da âncora é realizada usando um Veículo de Operação Remota (ROV) que bombeia a água para fora da parte superior do tubulão até a sua completa penetração no fundo do mar. O processo é simplesmente invertido para recuperar a âncora. (Jun Huang, 2003)

Uma análise da sonda e da ancoragem específica para o local pode determinar a configuração desejada para cada sistema. O sistema da âncora de sucção é instalado com a utilização dos métodos de instalação envolvendo uma única embarcação/cabo singelo, antes da chegada da sonda, e que se utiliza de uma embarcação com capacidade para veículo de operação remota (ROV). A âncora é lançada ao mar, baixada e bombeada, penetrando no leito marinho. O cabo de amarração pré-fixado se mantém engatado a uma bóia de superfície ou submersível, aguardando a chegada da sonda. (Colliat, 2002)

Quando da chegada da sonda ao local, esta é conectada às pernas de ancoragem por uma ou duas embarcações de manuseio de âncoras (AHVs) em um curto período de tempo. A recuperação do sistema é um processo simples com a âncora de sucção sendo bombeada para fora do leito marinho e recuperada pela popa da embarcação. (Colliat, 2002)

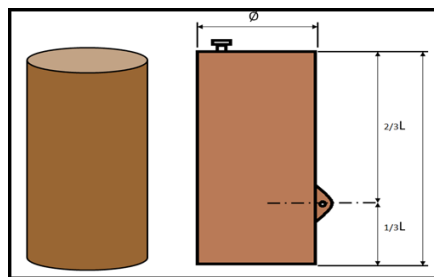
O referido trabalho teve por finalidade desenvolver um mecanismo de simulação do sistema de fixação de uma estaca de sucção e a realização de testes em replicas de escala reduzida para que fosse analisado o comportamento da capacidade de carga de uma estaca de sucção na medida em que houvesse uma variação no seu comprimento, mantendo-se seu diâmetro constante, a fim de entender seu comportamento mediante essas variações.

Metodologia

O início da preparação de todo aparato para realização dos testes foi o de desenvolver os dispositivos para montagem do sistema, como um suporte de metal sobre uma caixa de vidro utilizada para os testes, que pudesse suportar a linha ligada à âncora de sucção e a carga utilizada para as medições. Foram confeccionadas cinco âncoras de sucção em metal (em escala reduzida) com diâmetro de 3,8 cm cada uma e comprimento respectivamente, 12 cm; 10,8 cm; 9,6 cm; 8,4 cm; 7,2 cm para realização de testes de tração, conforme figuras 01. Foi também confeccionada uma âncora de sucção com 30 cm de comprimento e 30 cm de diâmetro, com a finalidade de simular a penetração no solo marinho, com auxílio de uma bomba de sucção.



(a)



(b)

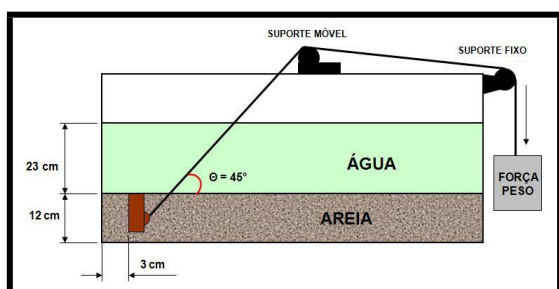
Figuras 01: Características geométricas das âncoras: (a) Âncoras de metal construídas em escala reduzida; (b) Desenho esquemático para a construção das âncoras de sucção.

No que se refere às medidas das âncoras foi definido um único diâmetro para todas que seriam testadas, sendo que para o comprimento deveria sofrer reduções de 10%, 20%, 30% e 40% em relação ao comprimento inicial de 12 cm da primeira âncora testada, como mostra a tabela 01.

Tabela 01: Valores comparativos entre os diferentes comprimentos de âncora confeccionados

Características geométricas					
Âncora	Comprimento (cm)	Redução (%)	Área externa (cm²)	Redução (%)	Diâmetro (cm)
1	12,0	-	143,3	-	3,8
2	10,8	10	129,0	10	3,8
3	9,6	20	114,6	20	3,8
4	8,4	30	100,3	30	3,8
5	7,2	40	86,0	40	3,8

A montagem do sistema para teste de cargas das âncoras foi feita posicionado a caixa de vidro em local nivelado, sendo colocada a areia no fundo, logo após, adicionando-se água, para, em seguida, posicionar os suportes, utilizando um cabo de nylon, formando um ângulo de 45° com a horizontal, ligando a âncora ao dispositivo gerador da força peso necessário para atuar no sistema. Para definição da posição correta do suporte móvel para formação exata do ângulo de 45° para cada âncora testada, foi utilizado um dispositivo transferidor de grau com nível, para medição do ângulo exato dos testes. Nas figuras 02 é possível verificar o esquema para a montagem do dispositivo utilizando o transferidor de grau com nível.



(a)



(b)

Figuras 02: Esquema para montagem do dispositivo de testes: (a) Descrição do esquema; (b) Transferidor de grau com nível

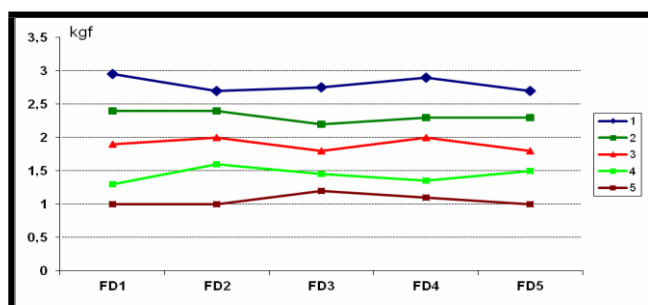
Após posicionar âncora e suporte em seus locais pré-definidos, aplicou-se uma força de tração inicial no cabo, que era gerada através da adição gradativa de água em um recipiente que estava preso ao cabo, no momento em que a âncora se deslocava, cessava-se a adição de água e através de um recipiente graduado registrava-se o volume e aferia-se a força peso com o auxílio de uma balança, repetindo o procedimento cinco vezes para cada âncora.

O próximo procedimento, após realização dos testes com as âncoras, foi o de montagem de um sistema para simulação da penetração da âncora no solo, através de uma bomba de sucção. Nesta etapa foi utilizada uma âncora de escala reduzida em que foi posicionada inicialmente sobre a camada de areia em um recipiente de vidro com água e em seguida com auxílio de uma bomba de sucção, acoplada a mesma por meio de uma mangueira, iniciou-se o procedimento de simulação de fixação no solo.

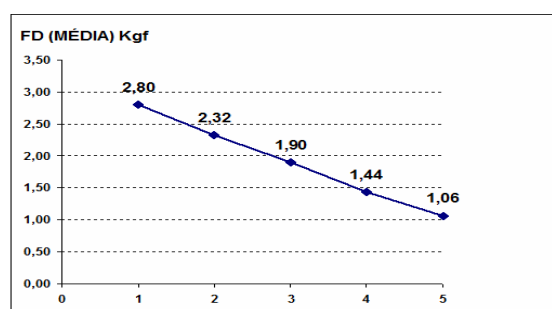
Resultados e Discussão

Para os resultados obtidos na simulação de assentamento da estaca de sucção no solo, verificou-se que o procedimento no interior da estrutura da âncora fez com que fosse gerada uma pressão negativa capaz de fazer a retirada da água do interior da mesma, fazendo com que esta estrutura desloque-se penetrando na camada de areia, obtendo assim o assentamento da âncora.

Os resultados obtidos nas análises das forças de deslocamento da âncora de sucção foram satisfatórios, pois era esperada a redução das forças ao passo que o comprimento das mesmas fosse reduzido, conforme pode ser visto no gráfico 01, que mostra o comportamento das forças de deslocamento (FD) para cada seção de teste realizado para cada âncora. Levando em consideração a possibilidade de erro nos posicionamentos da âncora para cada sessão de força aplicada, os valores aferidos também se mantiveram dentro dos limites aceitáveis com desvio padrão consideravelmente baixos, entre 0,12 e 0,08.



(a)



(b)

Gráficos 01: Força de deslocamento para âncoras de sucção: (a) Variação da FD para cada âncora analisada; (b) Média das FD para cada âncora analisada.

Analizando as forças necessárias para deslocamento, constatou-se que havia uma tendência linear na diminuição destas forças para o trecho de redução de comprimento testado, como pode ser visto nos gráficos 01, porém em comparação a cada etapa de mudança de comprimento, verificou-se que a proporção da força necessária para deslocar a âncora era maior do que os percentuais de redução dos comprimentos, diferentemente do que ocorria com a área externa total da âncora, como mostra a tabela 02.

Tabela 02: Resultados comparativos de redução de comprimento e força.

Valores percentuais comparativos	
Redução de comprimento	Redução de força
10%	17,14%
20%	32,14%
30%	48,57%
40%	62,14%

Embora os números apontem para um entendimento a uma progressão crescente dos percentuais à medida que 100% de redução de comprimento seja efetuado, estes números, a partir de um determinado instante tendem a manter um comportamento inverso ao inicial, fazendo com que a trajetória dos percentuais de redução de comprimento e força de deslocamento cheguem a 100%, como mostra a projeção dos números seguintes em uma escala sugestivamente linear para melhor entendimento, como mostra o gráfico 02.

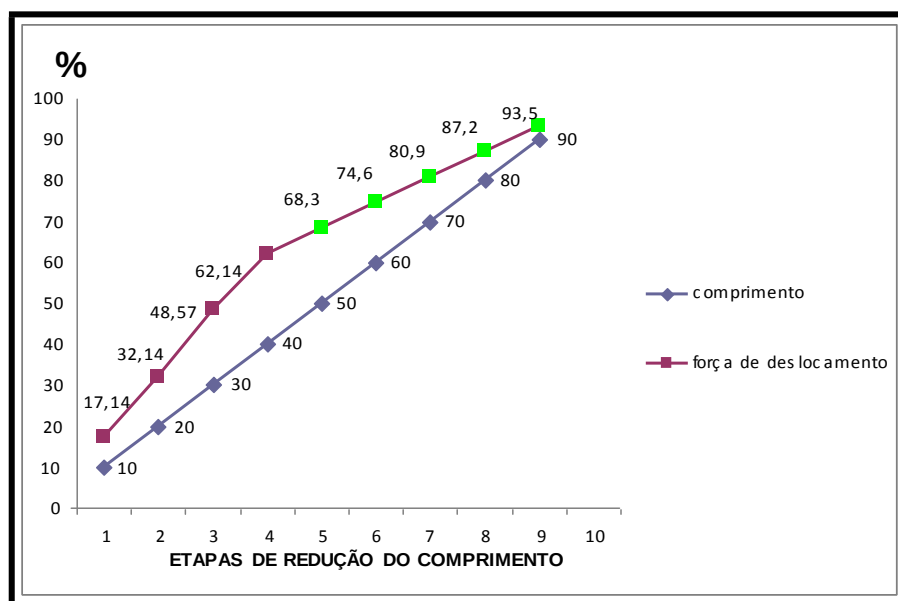
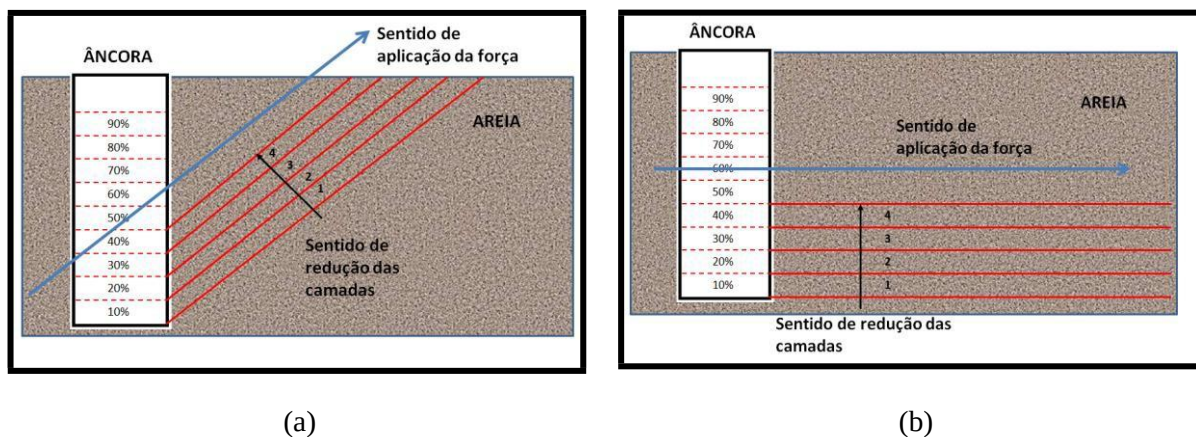


Gráfico 02: comparativos de perdas de comprimento e força utilizando as projeções.

A compreensão do comportamento dos dados obtidos e da dedução de uma possível progressão aos números atribuídos ao gráfico 02 pode ser melhor entendido e visualizado pelo esquema das figuras 03.



Figuras 03: Etapas de redução: (a) Para camadas diferentes; (b) Para camadas similares

No sistema de força aplicada de forma inclinada (figura 03 (a)), como realizado nos testes deste trabalho, para cada etapa de redução dos comprimentos, se eliminava uma determinada camada de solo que anteriormente atuava no sistema oferecendo uma resistência à força de tração aplicada ao cabo. Nota-se, no entanto que cada uma das reduções de comprimento da âncora é referente a uma diferente camada de solo em termos de extensão e consequentemente diferente perda de resistência à tração a cada etapa de teste realizado.

Conclusões

As aplicações das âncoras de sucção sem dúvida contribuem muito para as atividades *offshore* e representam uma alternativa largamente aplicada em situações específicas de trabalho ao passo que sua versatilidade é um dos pontos fortes que faz com que esta seja bem aceita. Ao analisar seu comportamento em relação ao seu sistema de assentamento ao solo, através de simulação em laboratório, foi verificado que o sistema oferece uma maneira simples e eficaz de posicionar a âncora em seu local de trabalho, sem que haja interferências, e com relevante certeza da penetração atingida com precisão. Através da análise dos dados obtidos para os testes relacionados ao comportamento das forças de retenção da âncora em função da redução de seu comprimento, foi possível verificar um comportamento de queda em sua capacidade em proporções maiores do que em comparação aos percentuais de redução de seu comprimento, ocasionadas provavelmente pelas condições de inclinação a que as forças de tração eram aplicadas. No entanto, estes resultados não podem ser utilizados como base a um comportamento geral para qualquer tipo de situação similar ao que foi analisada, pois a obtenção de informações de alguns parâmetros como a homogeneidade e características físicas do solo são relevantes para a obtenção de dados seguros e influenciam diretamente nos resultados, podendo estes resultados não seguirem uma tendência em proporções esperadas, concluindo assim que cada caso exige uma análise individual.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário de Barra Mansa (UBM) e seus funcionários, ao Núcleo de Pesquisa, Inovação e Difusão das Engenharias (NUPIDE) e aos professores do Curso de Engenharia de Petróleo pelo apoio ao desenvolvimento deste e de outros trabalhos.

Referências Bibliográficas

- [1] COLLIAT, J.L. **Anchors for Deepwater to Ultradeepwater Moorings**, 2002. 9f. Offshore Technology Conference, Houston, Texas U.S.A., 2002.
- [2] TJELTA T.L. **Suction Piles: Their Position and Application Today**, 2001. 6 proceedings of the Eleventh International Offshore and Polar Engineering Conference Stavanger, Norway, 2001.
- [3] JUN HUANG, A.M. *et al.* **Geotechnical Design of Suction Caisson in Clay**, 2003. 10 proceedings of the Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. Honolulu, Hawaii, USA, 2003.
- [4] JACOVAZZO, Bruno Martins. **Comparação entre sistemas de ancoragem ‘taut-leg’ e convencional para unidades flutuantes ancoradas na exploração de petróleo offshore**. 2006. 92 f. Projeto de Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- [5] BRAGA, Eloana Cardoso. **Aplicação conjunta do diagrama de offsets e do diagrama de operação segura (safop) à unidades de produção de petróleo**. 2009. 61 f. Projeto de Final de Curso (Graduação em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- [6] LACERDA, Thiago Ângelo Gonçalves de. **Análise de sistemas de ancoragem de plataformas flutuantes**. 2005. 67 f. Projeto de Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- [7] VRYHOF anchors B. v. **Anchor manual 2010: The guide to anchoring**. The Netherlands, 2010. 188 p.
- [8] VALADÃO, Ana Maria Fernandez. **Análise de fadiga de estruturas offshore tipo topside – Estudo de caso**. 2011. 85 f. Projeto de Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.