

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



ESTUDO PRELIMINAR DO ESCOAMENTO SOBRE UMA ESTACA TORPEDO ATRAVÉS DO SOFTWARE ANSYS CFX®

Marcelo Alexandre de Souza Júnior; Felipe de Lima Matos; Paulo Roberto Maciel Lyra; Ramiro Brito Willmersdorf

Universidade Federal de Pernambuco

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. 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 6ºPDPETRO.

ESTUDO PRELIMINAR DO ESCOAMENTO SOBRE UMA ESTACA TORPEDO ATRAVÉS DO SOFTWARE ANSYS CFX®

Abstract

As the largest Brazilian oil reservoirs are located off-shore the use of complex facilities at sea is necessary for their exploration and exploitation. These facilities need to be anchored in regions where the water depth can reach up to several kilometers. Torpedo piles are one of the best technologies for anchoring, because their geometry and terminal speed allows a good drive in the soil. The study of the flow around anchoring torpedo piles is of interest in order to better understand their stability and to try to improve their efficiency. The influence of the final cruise velocity and of the ocean currents has to be taken into account in order to analyze possible loss of directional stability, which may even lead to the loss of the anchoring system. The present work aims to perform preliminary studies of the effect of flow around the anchoring torpedo piles using the software ANSYS CFX®, which uses finite volume formulation, to perform the analysis necessary for the understanding of the hydrodynamics of the equipment and subsequent simulations of its release under realistic conditions.

Introdução

A crescente demanda mundial por gás e derivados de petróleo tem estendido os campos de produção a regiões marítimas de lâminas d'água cada vez mais profundas, onde estão localizadas bacias com elevado potencial de produção de hidrocarbonetos. O Brasil devido às recentes descobertas das reservas do pré-sal tem o desafio de desenvolver atividades de produção nessas regiões.

Nestas situações, as solicitações nas plataformas de produção estão sujeitas a condições ambientais severas e necessitam de um sistema de ancoragem eficiente, que proporcione estabilidade para as cargas transmitidas à fundação cada vez mais elevadas. A estaca torpedo é um sistema promissor devido ao seu relativo baixo custo de fabricação e instalação e está sendo utilizado pela Petrobras como sistema de ancoragem em águas profundas desde 2000.

Este trabalho tem como objetivo a simulação computacional preliminar do lançamento da estaca para o estudo da sua hidrodinâmica, criando um modelo que possa ser usado em análises mais elaboradas com estudos de ângulo de ataque, corrente marítimas e estudos de fluido-estrutura.

Metodologia

1. Geometria da Estaca

A geometria da estaca adotada neste trabalho foi baseada no modelo descrito por Aguiar (2007) e Rocha (2008) e que pode ser visualizado na figura 01.

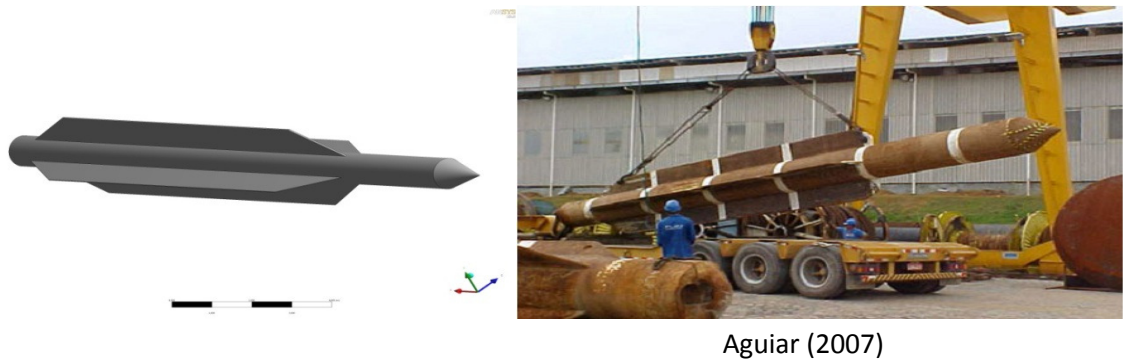


Figura 01: Modelo da estaca torpedo.

No modelo construído adotou-se quatro aletas de formato trapezoidal com simetria de 90° entre si acopladas à estaca conforme esquematizado na figura 02 e na tabela 01 a seguir.

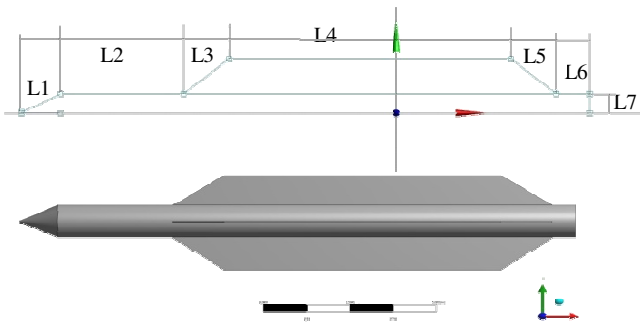


Figura 02: Geometria da estaca torpedo.

Tabela 01: Parâmetros geométricos adotados.

Legenda	Dimensões
L1	1,0894m
L2	3,485m
L3	1,335m
L4	8,000m
L5	1,335m
L6	0,845m
L7	0,5335m

2. Domínio:
 O domínio adotado para este caso foi um paralelepípedo de dimensões baseadas no comprimento total da estaca (L_T),descritas na figura abaixo e profundidade de $5 L_T$.

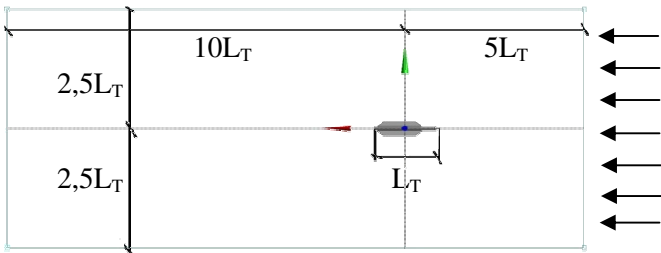


Figura 03: Domínio do escoamento.

3. Materiais e métodos

Para realizar a modelagem e simulação, utilizou-se o software de dinâmica computacional de fluidos ANSYS-CFX®, amplamente conhecido, testado e aprovado ao longo dos últimos vinte anos. O CFX trata-se de um software comercial baseado no método dos volumes finitos para simulações e estudos incluindo escoamentos turbulentos de interesse de vários ramos da ciência e outros fenômenos inerentes ao estudo hidrodinâmico de equipamentos.

3.1 Geração de malha

Foi construída uma malha multibloco no domínio com uma região não estruturada na região próxima à estaca com uma malha inflada na camada limite, pois é onde se terá o desenvolvimento dos fenômenos de interesse de estudo. Essa configuração foi usada por permitir um bom desempenho computacional com uma economia de malha e para permitir futuros estudos paramétricos envolvendo diferentes ângulos de ataque, efeitos de correntes com diversas configurações e estudos do fenômeno acoplado fluido-estrutura.

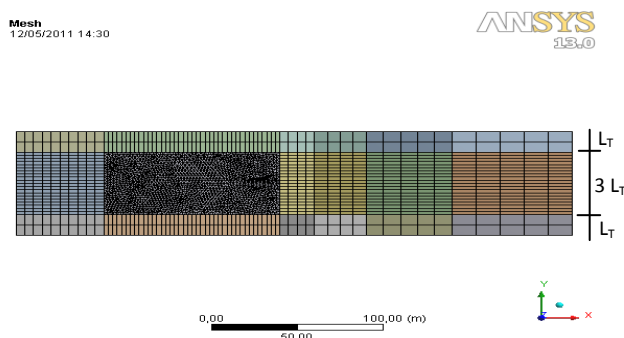


Figura 04: Visão da malha.

Ao redor da estaca foi construída uma malha inflada com 10 elementos na camada limite para que os fenômenos que ocorrem nessa região possam ser capturados com acurácia.

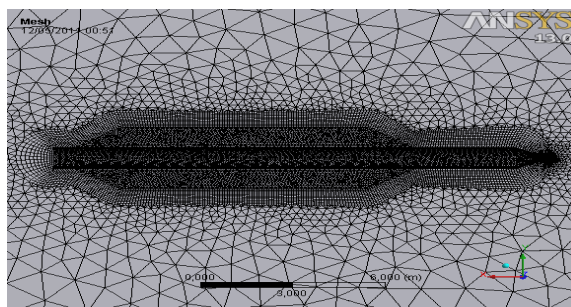


Figura 05: Malha inflada ao redor da estaca.

Tabela 02: Tipos de elementos contidos na malha.

Tipo de Elemento	Quantidade
Tetraedros	1224608
Prismas	548530
Pirâmides	2224
Hexaedros	14976

A malha descrita acima é a malha 4 citada na tabela 03.

3.2 Modelagem

Para as análises realizadas neste trabalho, assumimos que a velocidade da estaca torpedo é igual à velocidade de cruzeiro, velocidade esta que se caracteriza pela ausência de aceleração do corpo, isto significa que a resultante das forças atuantes na estaca é nula como mostrado na figura 06.

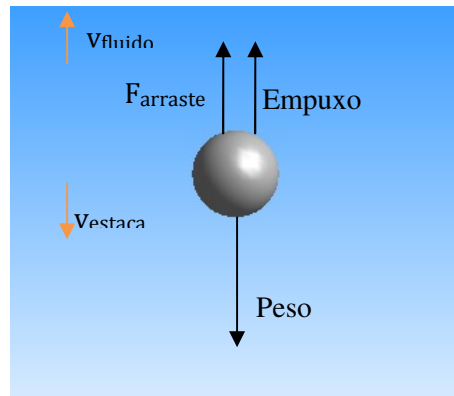


Figura 06: Forças atuantes num corpo submerso.

Matematicamente temos:

$$F_{resultante} = 0$$

$$Peso = F_{arraste} + Empuxo$$

Onde:

$$Peso = Vol_{estaca} \times \rho_{estaca} \times g;$$

$$Empuxo = Vol_{estaca} \times \rho_{fluido} \times g;$$

$$F_{arraste} = \frac{1}{2} \rho_{fluido} \times v_{estaca}^2 \times C_D \times A_{projetada}.$$

Após algumas manipulações encontra-se:

$$v_{cruzeiro} = \sqrt{\frac{2 \times Volume_{estaca} \times g \times (\rho_{estaca} - \rho_{fluido})}{C_D \times Área \times \rho_{fluido}}}$$

O coeficiente de arraste (C_D) pode ser encontrado numericamente pela correlação de Haider e Levenspiel (1989).

$$C_D = \frac{24}{Re_p} \{ 1 + [8,1716e^{(-4,0655\psi)}] Re_p^{(0,0964+0,5565\psi)} \} \frac{73,69 Re_p e^{-5,0748\psi}}{Re_p + 5,378 e^{6,2122\psi}}$$

Segundo Rocha (2008) a estaca torpedo é composta de uma fuselagem de aço e preenchida com sucata de aço e concreto para que o equipamento possua o maior peso específico possível. Neste trabalho foi adotado que a estaca é totalmente maciça e composta por aço de peso específico $\rho = 7860 \frac{kg}{m^3}$.

O valor encontrado para o coeficiente de arraste da estaca nas condições propostas foi de aproximadamente 4, com isso encontrou-se o valor analítico de $23 \frac{m}{s}$ para a velocidade de cruzeiro da estaca torpedo.

O problema descrito acima foi modelado com as seguintes condições de contorno:

- Entrada na dianteira da estaca com velocidade de $23 \frac{m}{s}$;
- Parede sem deslizamento na superfície da estaca;
- Condição de abertura no restante do domínio.

O modelo de turbulência adotado foi o *Shear Stress Transport* que é recomendado pelo manual de modelagem do programa como o mais indicado quando se deseja obter resultados mais precisos tanto na região de camada limite quanto na região mais afastada do corpo num escoamento externo do tipo turbulento.

A condição de parada usada nas simulações foi que a norma dos mínimos quadrados (RMS) em todas as equações do modelo fosse menor que 10^{-6} .

Para a validação do modelo foi realizado um teste de convergência de malha usando como parâmetro a densidade da malha, as malhas utilizadas no teste estão descritas na tabela 03.

Tabela 03: Malhas usadas no teste de convergência.

	Malha 1	Malha 2	Malha 3	Malha 4	Malha 5	Malha 6	Malha 7
Nós	470910	473801	486445	510185	532355	599418	872813
Elementos	1591834	1604668	1673730	1790338	1903552	2293858	3865462

Resultados e Discussão

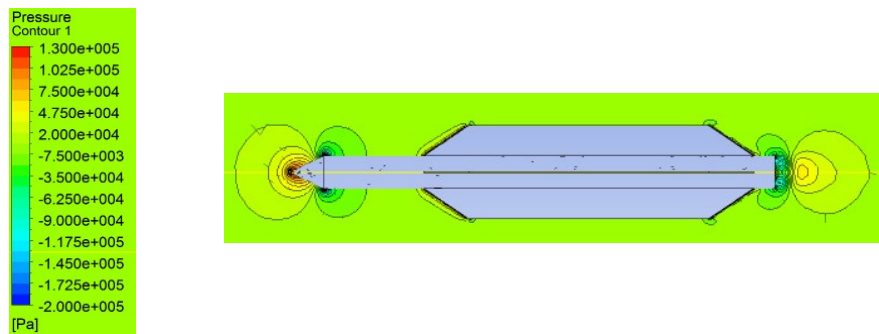


Figura 07: Campos de pressão na estaca.

Podemos observar um aumento da pressão no ponto estagnação na parte frontal da estaca como esperado. Na parte anterior da estaca observam-se duas regiões de recirculação devido à esteira.

O valor encontrado para o Drag da estaca neste escoamento foi de 97584,5N com um erro de 11,32% em relação ao valor analítico, o que é aceitável para análises de engenharia, o cálculo da força de arraste analítica tem como parâmetro o coeficiente de arraste (C_D) que não pode ser calculado empiricamente e a correlação para se obter seu valor numérico leva em consideração o numero de Reynolds do escoamento que é desconhecido e o fator de forma (Ψ) que é uma relação da área e do volume do corpo apenas e não leva em consideração sua geometria e seu efeito sobre o escoamento, por isso dá-se a

necessidade de estudos hidrodinâmicos para a determinação do Drag efetivo que o equipamento está sujeito.

O estudo de convergência de malha tomou como parâmetro de comparação o valor do Drag resultante na estaca e para medir a qualidade das malhas foi calculado o erro percentual em relação ao resultado da malha mais refinada usada no teste que é a malha 7 da tabela 04.

$$\text{Erro\%} = \left(\frac{\text{resultado da malha 7} - \text{resultado da malha } x}{\text{resultado da malha 7}} \right) \times 100$$

Tabela 04: Estudo de convergência de malha.

	Malha 1	Malha 2	Malha 3	Malha 4	Malha 5	Malha 6	Malha 7
Drag(N)	97474,4	97540,8	97476,8	97584,5	97350	97432	97056,2
Erro percentual relativo a malha 7(%)	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0

Todas as malhas testadas apresentaram uma variação pequena em comparação com a mais refinada, mas a melhor malha foi a malha 1, pois possui o menor tempo computacional de simulação e apresenta um erro percentual de 0,4% em relação a malha 7 que é a mais refinada.

Conclusões

Neste trabalho foi analisado um problema de estudo hidrodinâmico da estaca torpedo com um escoamento transversal, turbulento, onde o equipamento atingiu sua velocidade de cruzeiro. As simulações foram todas realizadas no software comercial ANSYS-CFX®. As análises realizadas neste artigo alcançaram o resultado esperado para o valor do Drag, que foi validado pelo teste de convergência de malha.

No futuro serão realizados estudos com o modelo construído neste trabalho avaliando parâmetros de efeitos de correntes com diversas configurações, estudos paramétricos envolvendo diferentes ângulos de ataque e o fenômeno acoplado fluido-estrutura para determinação das condições ideais de lançamento do equipamento.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Deus, a todos os integrantes do grupo de pesquisa PADMEC pelo apoio intelectual e motivador a este trabalho, ao MCT-ANP-PRH-26 e o projeto PRONEX FACEPE-CNPQ pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

COSTA, R.G.B. *Análise Paramétrica das Condições de Ancoragem de Plataformas Offshore Utilizando Estacas Torpedo a Partir de Modelos em Elementos Finitos*. 2008. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

AGUIAR, C. S., *Interação Solo-Estrutura de Fundações Offshore do Tipo Estaca*. 2007. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

CARVALHO JÚNIOR, Humberto ; CINTRA, Diogo Tenório ; RAMOS JÚNIOR, Adeildo Soares; LAGES, Eduardo Nobre ; SILVEIRA, Eduardo Setton Sampaio da ; LIRA, William Wagner Matos; RAMOS, Viviane Carrilho Leão ; VIEIRA, Luciana Correia Laurindo Martins. *Simulação do Lançamento e Cravação de Estacas-Torpedo em Solo Marinho com a Utilização do Método dos Elementos Discretos*. In: XXVI Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, 2005, Guarapari. Anais do XXVI CILAMCE, 2005.

HAIDER, A; LEVENPIEL, O. *Drag coefficient and Terminal velocity of spherical and non-spherical particles*. 1989. Powder technology 58, 63–70

OKIISHI, Theodore H.;YOUNG, Donald F.; MUNSON, Bruce R., *Fundamentos da Mecânica dos Fluidos*. São Paulo: Blucher, 2004.cap.9,p.481-546

FOUST, Alan S.; WENZEL, Leonard A.; CLUMP, Curtis W.; MAUS, Louis; ANDERSEN, L. *Princípios das Operações Unitárias*. Rio de Janeiro, 1982. Cap.22,p.538-616

Medeiros, Alexandre. Lançar âncora. **Revista Petrobras**, Rio de Janeiro, n. 163, p. 16, dez. 2010

ANSYS INC. *ANSYS CFX-Solver Modeling Guide*, Release 13.0, Novembro, 2010

ANSYS INC. *ANSYS CFX-Solver Theory Guide*, Release 13.0, Novembro, 2010

ANSYS INC. *ANSYS Meshing User's Guide*, Release 13.0, Novembro, 2010