

ESTUDO DE VIBRAÇÕES DE UM TUBO FLEXÍVEL VERTICAL DEVIDO A MOVIMENTOS NO SEU TOPO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS DE EXPERIMENTOS E SIMUAÇÕES NO COMPUTADOR

Palavras-Chave: SISTEMAS MARÍTIMOS, RISERS, PETRÓLEO

Autores/as:

HIGOR WANDERLEY GRISI DE OLIVEIRA LEITE

JEFFERSSON GABRIEL DA SILVA

LETICIA AVELINO LARANJA

Eng. CAIO CESAR DE OLIVEIRA TRIGO (colaborador)

Prof. Dr. CELSO KAZUYUKI MOROOKA (orientador)

INTRODUÇÃO

O petróleo é um combustível fóssil e uma das matérias-primas mais importantes na atualidade, e está intimamente ligado com a economia das nações. Responde por 31,5% da oferta total de energia primária do mundo, e o gás natural 21,3%. No Brasil, a participação do petróleo na oferta doméstica é de 39,3% e o gás natural 12,8%, devido à sua importância, essa substância é considerada o recurso básico da sociedade industrial contemporânea. A exploração do petróleo ocorre em terra e nos mares, hoje em dia no Brasil, quase a totalidade do petróleo e gás natural é oriundo das áreas marítimas onde a exploração e produção é realizada por meio de estruturas offshore. Considerando a sua importância na nossa sociedade, é fundamental realizar todas as operações envolvidas no processo de forma segura, sendo que pesquisas vêm sendo realizadas sobre as tecnologias. Este trabalho incluiu um estudo bibliográfico sobre os princípios da exploração do petróleo e envolve um experimento em laboratório para o estudo de vibração de tubos flexíveis verticais, o *riser*.

Risers são necessários na exploração offshore em poços localizados em alto mar, servindo como meio para vencer a profundidade do mar na extração do petróleo e gás natural. *Risers* verticais podem apresentar diferentes aplicações na indústria *offshore*, podendo ser utilizado na etapa de perfuração de poços marítimos quando são usados como meio condutor da coluna de perfuração na construção de poços. Podem ser também utilizados para injeção de fluidos no reservatório de petróleo, e em outros casos, para captação de água fria do mar para resfriamento de equipamento de processamento de petróleo e gás na plataforma flutuante. Em termos gerais, a etapa de pesquisa e de projeto é fundamental para o sucesso do empreendimento. *Risers* são tubos que conectam poços submarinos às plataformas

flutuantes transportando algum tipo de fluido que varia com a sua funcionalidade. Em princípio, é necessário assegurar que *risers* tenham flexibilidade e resistência, pois ficam submetidos a mudanças de temperatura e pressão no fundo do mar.

Na presente pesquisa, estudou-se o comportamento de um modelo *riser* vertical utilizado no mar. Fundamentos da engenharia de petróleo foram estudados inicialmente (Thomas, 2004), e em seguida, foram realizados também, um estudo bibliográfico sobre *risers* e de técnicas para experimentos com modelo reduzido em laboratório, e finalmente, sobre técnicas de medição em experimento. No experimento, as vibrações no comportamento dinâmico do modelo foram medidas sob efeito de movimento forçados no topo do modelo, simulando diferentes condições de operação. Resultados do comportamento dinâmico do modelo do *riser* foram obtidos e análises foram realizadas. Os dados e resultados do experimento foram comparados com os resultados da simulação em computador.

METODOLOGIA

Após a obtenção dos conhecimentos iniciais para compreensão do experimento e das demais análises a serem realizadas, um experimento foi conduzido em escala reduzida utilizando a infraestrutura do laboratório de sistemas marítimos e *risers* (LabRiser), onde um aparato experimental foi desenvolvido e montado em tanque de testes para o modelo de *riser*, em escala reduzida, na configuração vertical.

O modelo foi projetado com base nos dados de protótipo de um *riser* captador de água fria, onde foi feito um estudo de similaridade para redução de escala, obtendo-se assim, as dimensões para fabricação do modelo. O modelo foi fabricado em borracha de silicone para manter as características e semelhança entre o modelo e o protótipo, com objetivo de obter um modelo com comportamento dinâmico compatível com o protótipo real utilizado no oceano. Para sua fabricação foi utilizado um molde em acrílico onde se inseriu uma mistura líquida da borracha e o seu catalisador. Após 24 horas modelo foi removido do molde e as dimensões e propriedades, alcançadas foram verificadas, assim como a densidade linear e o módulo de elasticidade do modelo resultante. A Tabela 1 abaixo mostra as dimensões e características do modelo obtido.

Tabela 1 – Dados do modelo

<i>Propriedade</i>	<i>Protótipo</i>	<i>Modelo</i>
Comprimento L (m)	328,3	1,40
Diâmetro (mm)	578	10
Massa linear (kg/m)	0,610	0,010
Rigidez a flexão EI (Nm ²)	2,93 x 10 ⁸	5,76 x 10 ⁻⁴
Rigidez axial EA (N)	6,23 x 10 ⁹	86,4

Para a realização do experimento, uma estrutura de suporte foi construída para o sistema de movimentação forçada de topo. Este sistema tem a função de gerar movimentos representando os

movimentos de uma plataforma flutuante no oceano devido à ação de ondas e correntezas. O modelo foi conectado ao sistema de movimentação, e por fim, inserido em tanque com água parada para representação do ambiente de marinho, como mostra o esquema da Figura 1.

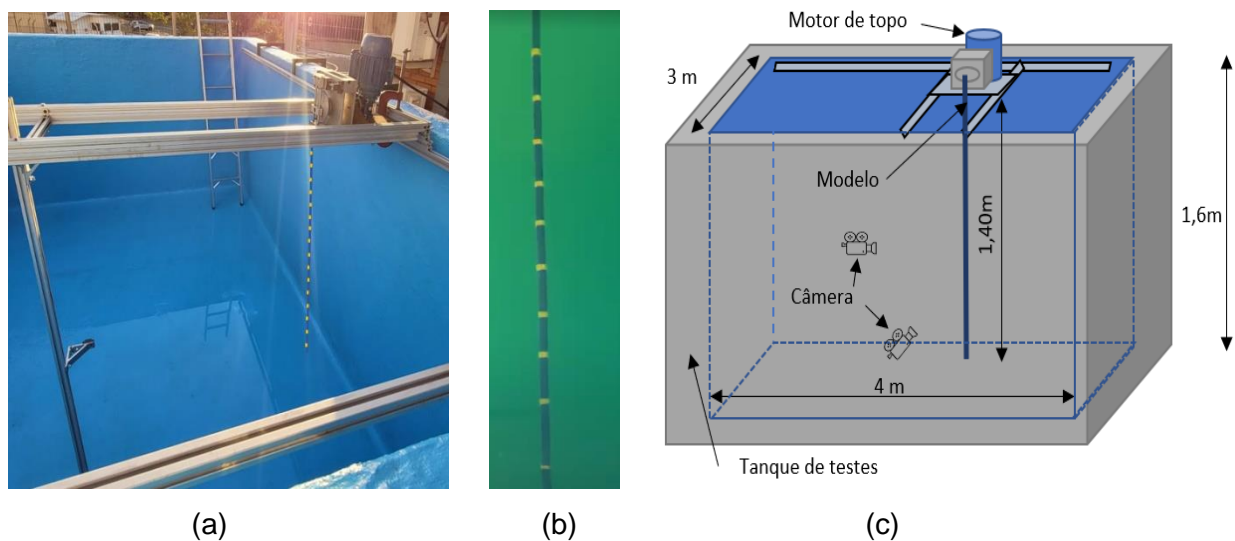


Figura 1 – Aparato experimental; (a) montagem do experimento; (b) modelo em escala submerso em água; (c) principais dimensões

No experimento, movimentos oscilatórios retilíneos na direção horizontal com amplitude e velocidades controladas foram forçados no extremo superior do modelo, e verificou-se o seu comportamento dinâmico ao longo do seu comprimento. O movimento do modelo foi medido utilizando um sistema ótico de captura de movimento, onde 2 câmeras subaquáticas GoPro Hero 5 capturaram movimentos durante os testes. Marcadores reflexivos foram fixados ao longo do comprimento do modelo para auxiliar o software *Labview* na extração das coordenadas X Y e Z de cada ponto do marcador, em cada instante da gravação. As câmeras utilizadas gravaram a posição de cada marcador a uma taxa de amostragem de 30 FPS, com a duração de 2 minutos para cada condição de teste. Foram testados 20 casos diferentes, com variação da frequência de movimento de 0,1Hz à 2Hz; e amplitude máxima de movimento de 20mm. Para sincronização de imagens das câmeras, foi instalado um LED sinalizador utilizado como referência temporal na medição dos sinais em cada teste. Os dados do experimento foram posteriormente exportados para uma tabela em Excel para fins de processamento de análise.

Neste estudo, foi também utilizado um programa de simulação em computador, específico para estruturas submarinas e *risers*, denominado *Orcaflex*. No programa, foi elaborado um modelo computacional do *riser* utilizado nos testes conforme suas dimensões e propriedades físicas, incluindo-se as condições dos movimentos forçados de topo no experimento e representando o meio fluido (água) na qual os testes foram realizados. O cálculo computacional considera a divisão do comprimento do modelo do *riser* em pequenos segmentos e as propriedades de cada segmento (dimensão e material) para obtenção dos resultados. Os resultados das simulações em computador foram comparados com o do experimento, e análises comparativas foram realizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a etapa de adequação dos dados obtidos durante o experimento, foram gerados gráficos do movimento do modelo para frequência estudada. Neste resumo estão apresentadas somente resultados para duas frequências do total de 20 frequências testadas. Estão apresentados resultados para frequência de 1,60 hz e de 1,95 hz, respectivamente, ambas com amplitude máxima de 20 mm para o movimento de topo horizontal. Tendo em vista falha verificada na câmera na captura do movimento lateral (plano de YZ), estão apresentados resultados de movimento somente no plano XZ. Estão apresentados a série temporal dos movimentos na direção do eixo X como também a envoltória de movimentos máximos e mínimos nesta mesma direção X.

A Figura 2 apresenta série temporal dos movimentos incluindo o movimento do topo (motor). A Figura 3 apresenta as envoltórias de máximos e mínimos, sendo que os pontos desta figura foram retirados das médias para máximos e mínimos nas séries temporais de cada marcador Alvo no modelo.

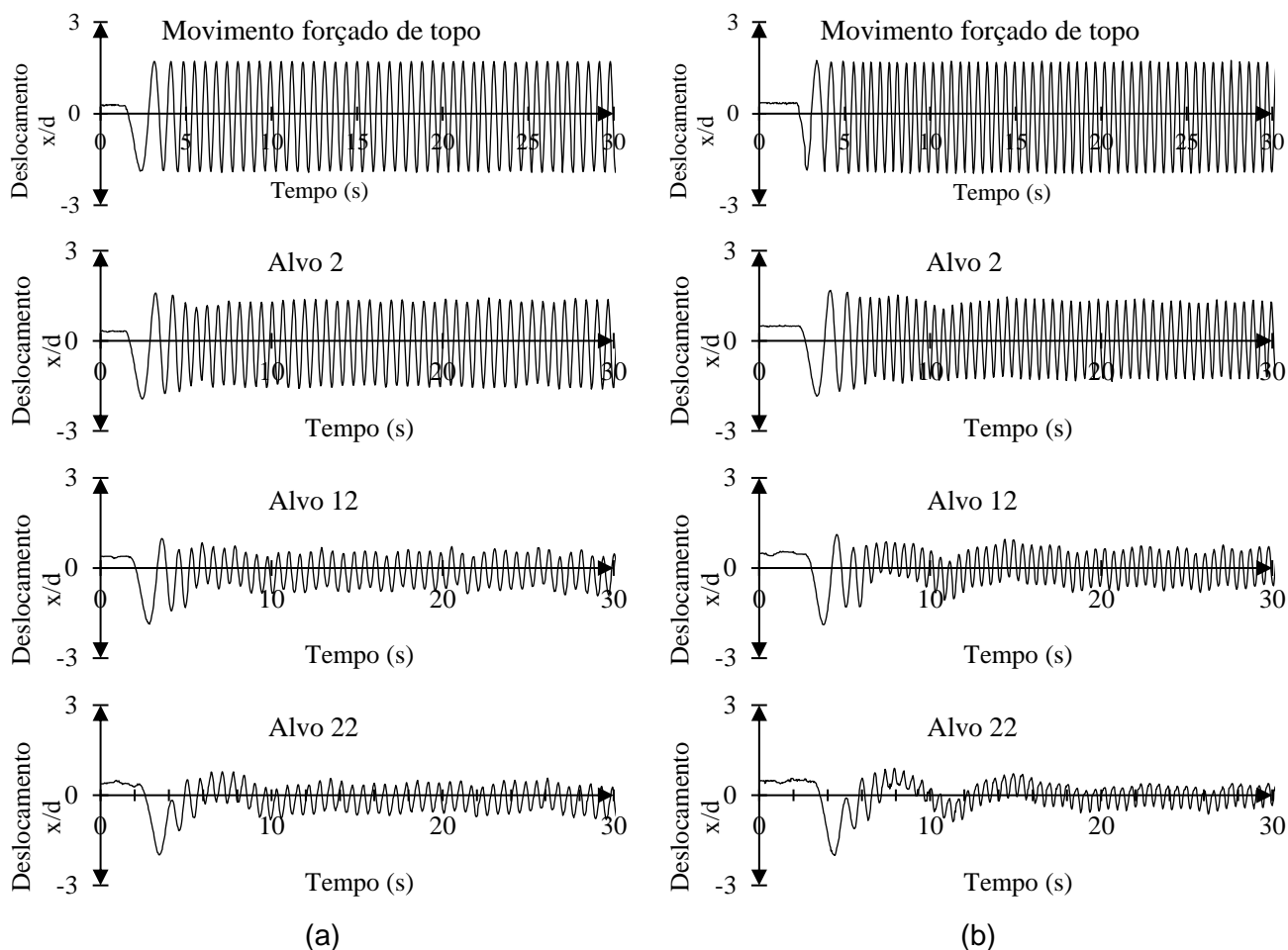


Figura 2 – Serie temporal da resposta do modelo nos alvos 2, 12 e 22 ao longo do comprimento do modelo com movimento horizontal forçado de topo; (a) $f = 1,60\text{hz}$; $A=20\text{mm}$; (b) $f = 1,95\text{hz}$; $A=20\text{mm}$

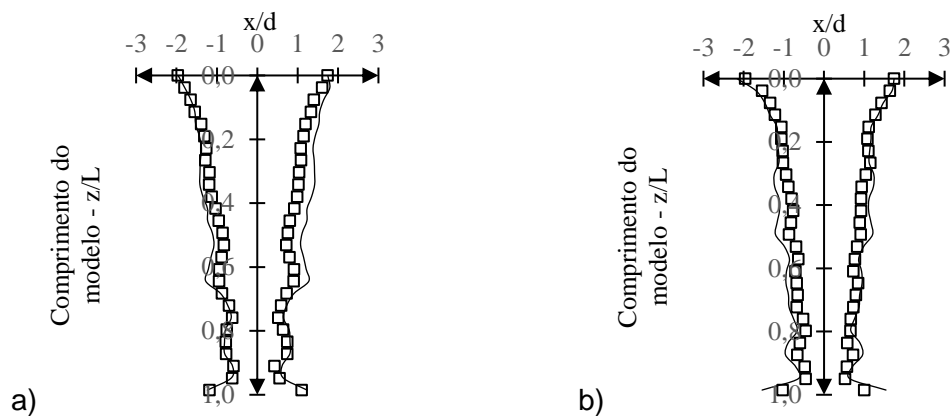


Figura 3 – Envoltória de máximos e mínimos da vibração do modelo ao longo do comprimento, para a direção longitudinal com movimento horizontal forçado de topo; (a) $f = 1,60$ Hz (b) $f = 1,95$ Hz

É possível observar que há uma semelhança entre os resultados experimentais e a simulação numérica, conforme resultados nas Figuras acima, viabilizando desta forma, outras simulações no computador simulando condições de interesse para fins de projeto de engenharia. A análise de envoltórias de movimentos, observando-se a distribuição de máximos movimentos ao longo do comprimento do modelo, possibilita verificar os modos naturais (relacionado à ressonância) de vibração do riser vertical.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa possibilitou a compreensão da importância dos risers no processo de exploração de petróleo em um sistema offshore, assim como a necessidade de que estes apresentem segurança em operações com o seu uso. Pôde-se entender o funcionamento das operações de produção de petróleo e os problemas enfrentados em plataformas *offshore*. Concluímos que um modelo experimental em escala reduzida é uma ótima forma de se observar o comportamento de um riser, antes de se construir o protótipo em seu tamanho real, principalmente para se certificar resultados de simulação em computador, possibilitando posteriormente, a ampliação das análises e verificar possibilidade de sua operação em diferentes condições.

O programa PIBIC-EM (programa institucional de bolsas de iniciação científica para o ensino médio) possibilitou a experiência inigualável de realizar este projeto e nos deu uma oportunidade de entender um pouco sobre pesquisa e a engenharia de petróleo, possibilitando assim, expandir os nossos conhecimentos.

BIBLIOGRAFIA

- THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo, Editora Interciência, 2004.
- SAKUGAWA, P. M. - Comportamento dinâmico de um riser captador de água do mar. Dissertação de Mestrado, PPG Ciências e Engenharia de Petróleo, UNICAMP, 2018.
- TRIGO, C. C. O.; MOROOKA, C. K. Model Test with a Vertical Pipe to Elevate Cold Sea Water. Congresso OMAE 2018. Madrid, 2018.