

# EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO COM MODELO REDUZIDO DE TUBO VERTICAL FLEXÍVEL COM MOVIMENTOS DE PLATAFORMA MARÍTIMA FLUTUANTE E COMPARAÇÕES COM SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Palavras-Chave: SISTEMAS MARÍTIMOS, RISERS, VIV, PETRÓLEO,

Autores/as:

ANDRÉ LUIS ASSIS DE SOUSA

JOSÉ ARTHUR ALVES DE SÁ

LARA MATIAS PASQUOTI

CAIO CESAR DE OLIVEIRA TRIGO

JÉSSICA PALMA SILVA

Prof. Dr. CELSO KAZUYUKI MOROOKA (Orientador)

## INTRODUÇÃO:

O petróleo é um recurso natural de extrema importância para qualquer nação, sendo na civilização moderna uma matéria-prima importante para diferentes aplicações. Além da importância no aspecto energético, de uma maneira geral, seus derivados na forma de gasolina e diesel servem de combustível em praticamente todos os veículos automotores usados hoje em dia. Além de ser utilizado como fonte de energia, o petróleo é insumo para fabricação de plástico, borracha sintética, tintas, corantes, adesivos, solventes, detergentes, explosivos, produtos farmacêuticos e cosméticos, dentre outras.

Assim, o petróleo se tornou indispensável no cotidiano humano. Países como Estados Unidos e Japão enfrentariam grandes dificuldades caso houvesse algum problema no fornecimento de petróleo, dada sua dependência em relação a esta matéria-prima, que já se sabe vai se esgotar um dia. Por isso, não é difícil entender por que a posse das áreas de extração de petróleo é tão cobiçada por diversas nações. Mesmo sendo tão cobiçada, a extração do petróleo é muito cara, principalmente em campos marítimos de petróleo quando plataformas flutuantes são necessárias para sua extração, em conjunto com demais equipamentos submarinos para procedimentos de produção do óleo e gás natural. Assim como todos outros tipos de trabalho envolvendo máquinas, a extração do petróleo apresenta vários tipos de dificuldades na operação, dentre eles no processo de instalação dos *risers* que são elementos tubulares de grandes comprimentos utilizados para diferentes finalidades de acordo com a operação. Na perfuração utiliza-se como

condutor para acesso ao poço de petróleo na fase de sua construção no fundo do oceano, na produção serve como condutor do óleo e gás do fundo do mar para a superfície, e finalmente, apresentam outras aplicações como de tubulação para injeção de água ou gás natural no reservatório de petróleo, ou ainda, na captação de água fria do mar para resfriamento de equipamentos de processamento do petróleo e gás na plataforma flutuante de produção. O projeto do *riser* como a análise de sua operação necessita de modelos físicos e matemáticos para sua representação.

No presente projeto de pesquisa, os estudos iniciais concentraram no tema de sistemas marítimos e comportamento da estrutura *riser*. Foi elaborada uma pesquisa bibliográfica inicial sobre o tema, e em seguida estudou-se o comportamento do *riser* por meio de análises dos dados de experimento com modelo de *riser* em escala reduzida e movimentos forçados em seu topo, simulando carregamentos ambientais como corrente marítima e movimentos de embarcação devido a ondas do mar. Foram estudadas diferentes condições de operação, e resultados do experimento foram comparados com resultados de simulações em computador.

Este trabalho foi realizado integralmente de forma remota, com auxílio de diversos meios tecnológicos da informática, estudos teóricos e análise de dados de experimentos anteriormente realizados pelo grupo de pesquisa, e por fim, simulações em computador.

## **METODOLOGIA:**

Em decorrência da pandemia da Covid-19, a análise dos resultados do presente experimento foi realizada totalmente remota. Em consequência, dados de um experimento realizado no final do ano de 2019, por outros pesquisadores e alunos do grupo de pesquisa, foram utilizados como parte deste nosso projeto. Foram realizados estudos através da bibliografia indicada (Thomas, 2004), sobre fundamentos de petróleo, sua história e todo o processo de sua exploração, obtendo se assim, conhecimentos iniciais para compreensão do experimento e das demais análises. O experimento no laboratório foi feito com modelo de *riser* em escala reduzida na configuração vertical. Um modelo em escala reduzida apresenta características similares ao protótipo em escala real, e é normalmente utilizado para os estudos de seu comportamento em laboratório experimental.

O modelo foi fabricado em silicone, sendo que este material foi selecionado por apresentar a propriedade elástica adequada para manter as características físicas do modelo similares ao do protótipo. A Tabela 1 apresenta as principais dimensões utilizadas no experimento. O modelo foi fixado em sistema mecânico que é capaz de simular os movimentos de uma plataforma de petróleo, e por fim inserido um tanque com água, representando o ambiente de marinho, como exemplificado no esquema da Figura 1.

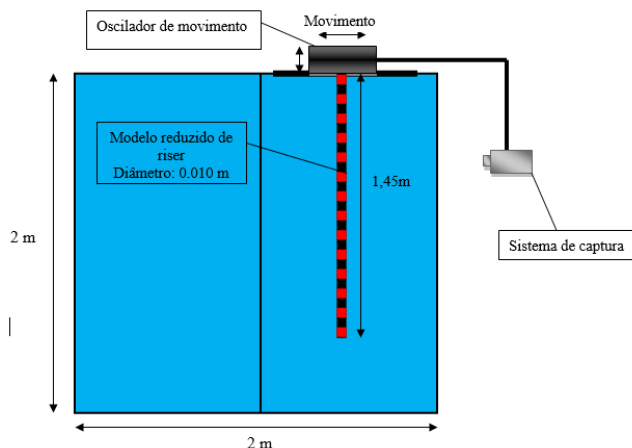


Figura 1: Representação esquemática do experimento e dados do modelo

TABELA 1 - Dados do modelo

Comprimento	1,49 m
Diâmetro	0,010 m
Modulo de Young	0,34 MPa
Massa	0,165 kg
Densidade	1,4 g/cm <sup>3</sup>

O experimento consistiu em forçar movimentos oscilatórios retilíneos na direção vertical com amplitude e velocidades controladas, no modelo e verificar o comportamento quando em contato com a água. A Figura 2 é uma foto do tanque com o modelo preparado para os testes. Para medir os movimentos foi utilizado um sistema de captura de movimento. Onde 2 câmeras capturavam o movimento durante os testes, no modelo foram fixados ao longo de seu comprimento 10 marcadores refletivos para que com auxílio do software *Labview* fossem extraídos as coordenadas X Y e Z de cada instante da gravação. As câmeras utilizadas gravaram com uma taxa de aquisição de 60 FPS. Foi planejada uma matriz com a sequência de testes, ao todos foram realizados 20 testes com duração de 1 minuto cada. Os dados do experimento foram posteriormente exportados para uma tabela em Excel para fins dos procedimentos de análise e processamento necessários.

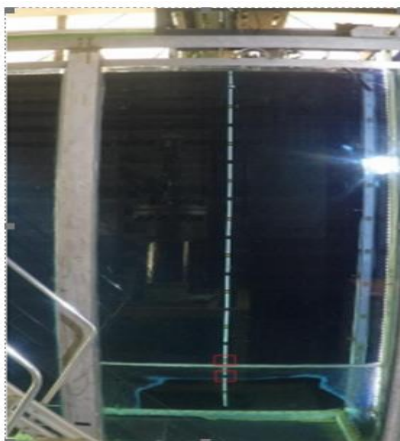


Figura 2: Experimento montado

O sistema do experimento foi também modelado em um programa de simulação em computador, específico para estruturas submarinas e *risers*, com as dimensões e mesmas características utilizadas no modelo. A mesma matriz de testes foi considerada nestas simulações. Foi inserido um desenho do modelo no programa e adicionamos dados importantes como: comprimento, tipo de material, diâmetro, massa, e depois adicionamos os carregamentos

ambientais para analisar o comportamento do modelo. Para calcular os resultados, o programa divide o comprimento do modelo em pequenos segmentos e calcula propriedades para cada segmento e obtendo resultados. Após a realização das simulações em computador, os resultados obtidos foram comparados com resultados do experimento e análises foram também realizadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Após a execução dos testes, de acordo com a matriz planeja, os dados foram tratados e organizado em uma planilha para análise. Com isso foi possível criar gráficos de séries temporais das direções X e Y para cada marcador. Em seguida, os dados da simulação computacional foram inseridos para comparação e análise. Foram gerados gráficos de envoltória de máximos e mínimos, para avaliar deslocamentos sofridos pelo modelo. Neste resumo estão apresentados resultados de somente um dos testes, com movimentos de topo forçados na horizontal (na direção do eixo X) com amplitude de 10 mm e frequência de oscilação de 0,50Hz, e os marcadores a observados no topo e, para os pontos 3 e 7, respectivamente.

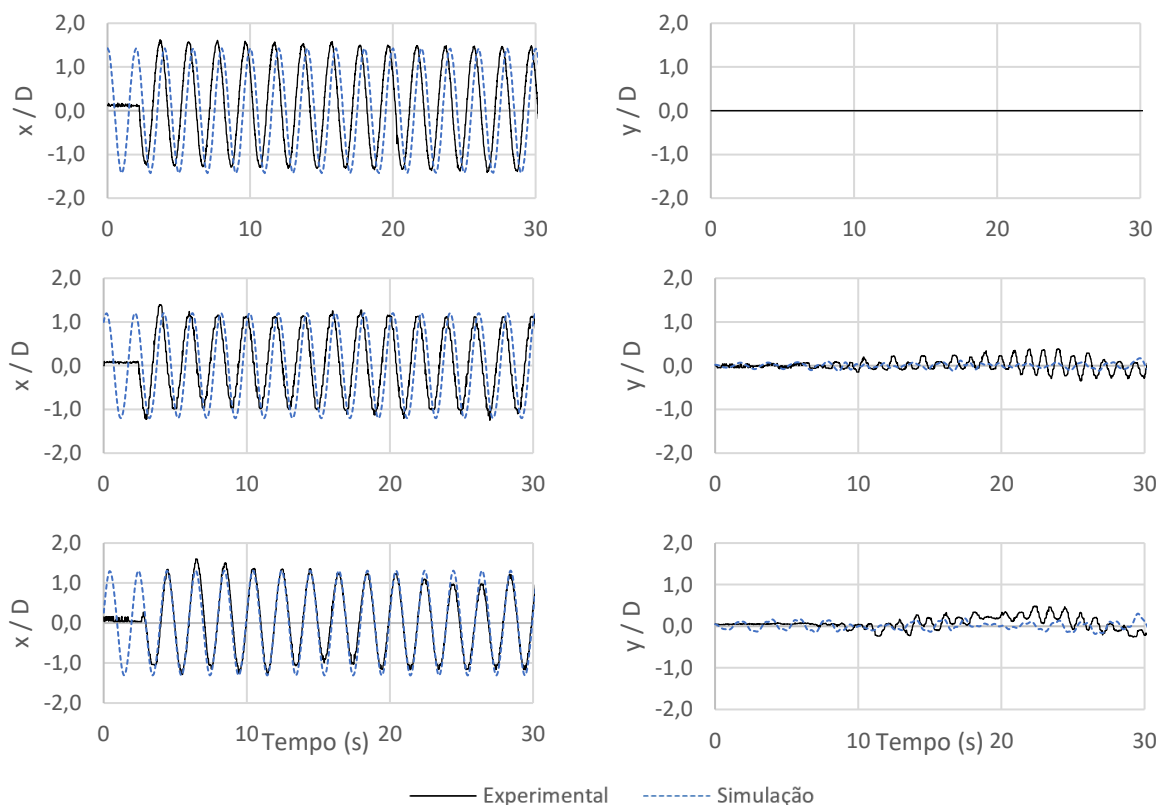


Figura 3: Series temporais do teste de 0,50 Hz com amplitude de 10 mm entre o instante 0s a 30s. Topo (movimento forçado em X), marcador 3 (nível z=-300m) e marcador 7 (z=-850mm).

De acordo com os resultados acima, é possível observar que há uma semelhança entre os resultados experimentais e simulação em computador, e também é possível notar que ao se forçar o movimento na direção X, surge um movimento na direção Y. Abaixo segue a análise de envoltórias, e elas ajudam a verificação e análise dos máximos movimentos ao longo do comprimento de todo modelo e *riser*.

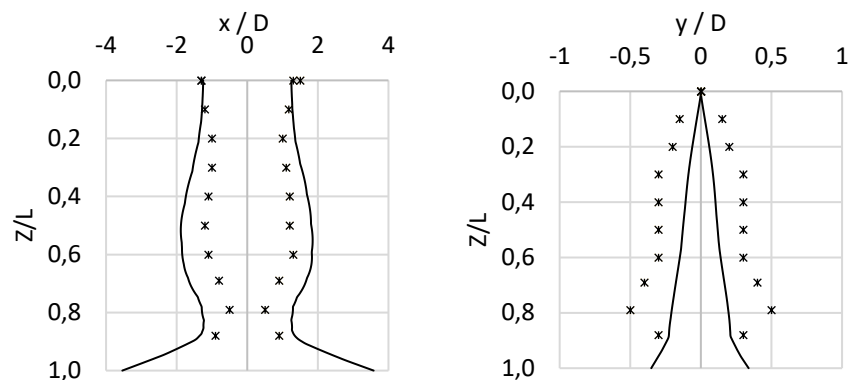


Figura 4: Envoltórias máximas e mínimas dos movimentos no eixo x e y

## CONCLUSÕES:

No presente projeto foi possível compreender a importância dos *risers* em um processo de exploração de petróleo *offshore*, e os possíveis problemas ao meio ambiente e de acidente que podem ocorrer quando ficam sujeitos a carregamentos ambientais como corrente marítimas e ondas do mar. Durante o estudo, foi possível entender a parte teórica do projeto, como funciona a produção do petróleo, e quais são os problemas normalmente enfrentados no projeto destes sistemas marítimos. Projetos de tamanha importância econômica devem ser planejados com o mínimo de ocorrência de falhas, pois se trata de projetos caros que podem ocasionar consequências ao meio ambiente. Em relação aos estudos e pesquisa, foi possível entender claramente a função de um *riser* no sistema marítimo de produção de óleo e gás, e as circunstâncias que ele se encontra, levando em conta a dificuldade de simular em experimentos de laboratório ou mesmo em computador, devido aos vários fatores envolvidos na análise. Foi possível observar ainda, resultados de simulação computacional semelhante ao do experimento, e ampliar assim, a análise do problema para outros casos por meio de cálculos em computador. Concluímos que um modelo experimental em escala reduzida é uma ótima forma de observar o comportamento de um *riser* antes de construir um protótipo no seu tamanho real, principalmente para certificar resultados da simulação em computador para posteriormente ampliar análises.

Ao programa PIBIC-EM (programa institucional de Bolsas de iniciação científica para o ensino médio), ressaltando que é um programa excelente, tendo em vista a responsabilidade e as oportunidades dadas a todos nós que fizemos parte, e o tanto que nos foi investido para que fosse possível a realização deste projeto.

## 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.