

Uma implementação do método de Elementos Finitos à análise de problemas dinâmicos de interação solo-estrutura.

UNICAMP



Engenharia Mecânica

Arruda V.P. e Pavanello R.

Departamento de Mecânica Computacional
Faculdade de Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Campinas, SP, Brasil



Resumo

A motivação do trabalho está ligada à problemática da exploração de petróleo em águas profundas, em particular o estudo da interação dinâmica entre dutos e o solo marinho. Para analisar essa interação dinâmica foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF). A representação dos dutos é baseada em modelos de elasticidade bidimensional usando a simulação do comportamento dinâmico dos sistemas e adotou-se uma lei constitutiva linear elástica para representar o comportamento do material. As hipóteses de estado plano de tensões foram adotadas. Para representação do solo, foram desenvolvidos modelos contínuos, com comportamento dinâmico elástico linear, fazendo-se análises para diferentes configurações de contato e penetração. Para a solução do acoplamento solo estrutura foram avaliados algoritmos de contato, usando o Método de Penalidades. Avaliou-se o carregamento mecânico gerado pelo solo sobre a estrutura quanto ocorre o contato entre os meios, visando à determinação das tensões dinâmicas para posterior avaliação da vida em fadiga desta estrutura.

1. Introdução

Atualmente a simulação de problemas realistas de engenharia é possível graças aos métodos numéricos e à disponibilidade de capacidade computacional a custos baixos. Um dos aspectos que deve ser contemplado na formação de um engenheiro é uma capacitação para lidar com métodos numéricos. Na área de mecânica dos sólidos e estruturas, um dos métodos mais importantes é o Método dos Elementos Finitos (MEF). Neste projeto buscamos ter acesso a este método, aprender seus fundamentos, e utilizá-lo na realização de pesquisas nestes tópicos.

O tema amplo escolhido foi a interação estática e dinâmica estacionária entre dutos, com fluido o circundando e solo o sustentando. Estes dutos (risers) são tubulações utilizadas na exploração de petróleo. A motivação está ligada a um problema da indústria brasileira de petróleo, em particular na exploração de petróleo em águas profundas.

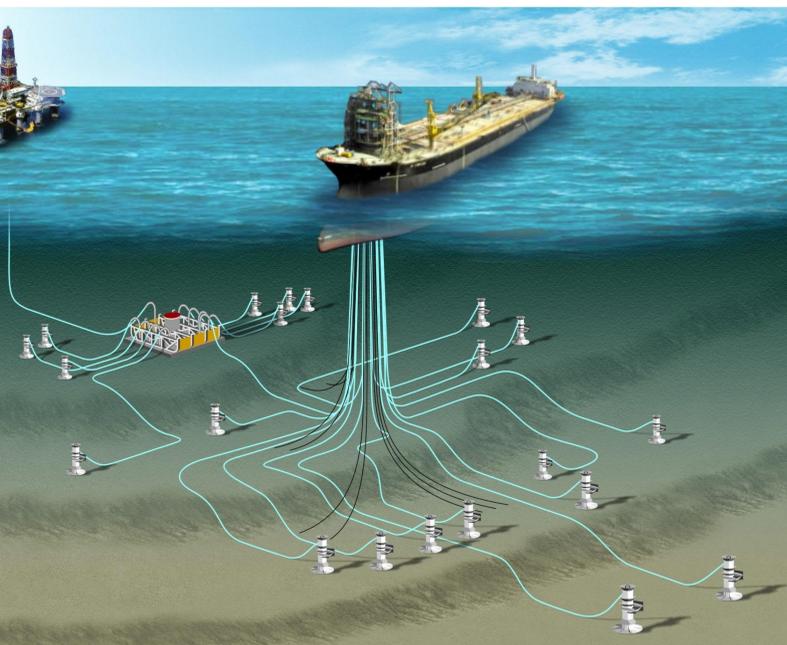


Figura 1: Exemplo da utilização de risers na produção offshore.

Para a indústria petrolífera a busca por novas reservas de petróleo é sempre um grande desafio. Porém, ainda mais desafiador tem sido a extração desse bem energético de modo seguro, de forma que os riscos ecológicos sejam reduzidos a níveis considerados adequados, pois, dessa maneira, além de se assegurar o crescimento sustentável será possível também maximizar os lucros no processo extrativo. Nesse sentido é que os estudos para a extração de petróleo em reservas offshore têm se atentado cada vez mais na busca por ferramentas que descrevam o comportamento desses sistemas a fim de tornar essas estruturas mais seguras. Assim, o estudo do comportamento dinâmico de risers, analisado sob a óptica da interação solo-estrutura, é relevante para a área.

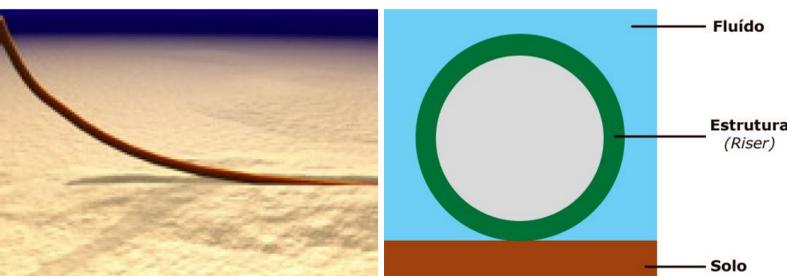


Figura 2: Região de contato riser-solo e, corte típico para análise

2. Métodos e Resultados

O estudo do Método dos Elementos Finitos (MEF) foi a primeira atividade de nosso projeto. Com ele conseguimos determinar o estado de tensões de um sólido sofrendo um determinado carregamento. O algoritmo desenvolvido se divide em 3 partes:

• **Pré Processamento** – foram desenvolvidas nesta etapa as malhas do modelo em estudo. Elas nos fornecem os dados de posição de cada elemento no espaço, dados geométricos e propriedades do material da estrutura. Uma fatia plana transversal do sistema foi o modelo utilizado.

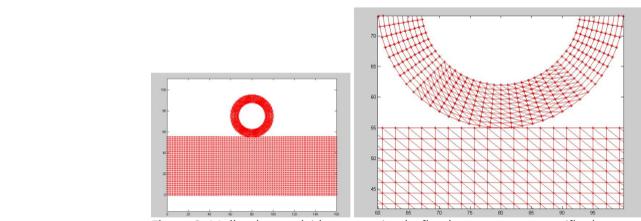


Figura 3: Malha desenvolvida para a simulação, destaque para a região de contato.

• **Módulo de Cálculo** – nesta etapa do programa, conseguimos calcular o estado de tensão de cada elemento presente na malha, devido ao carregamento que sofre. Com o método dos elementos finitos conseguimos definir as deformações e a distribuição de tensão encontradas na malha. Para isso são definidas as matrizes de rigidez de cada elemento.

• **Pós Processamento** - terminado os cálculos do estado de tensões de cada elemento, é apresentado o gradiente de tensões do modelo em análise.

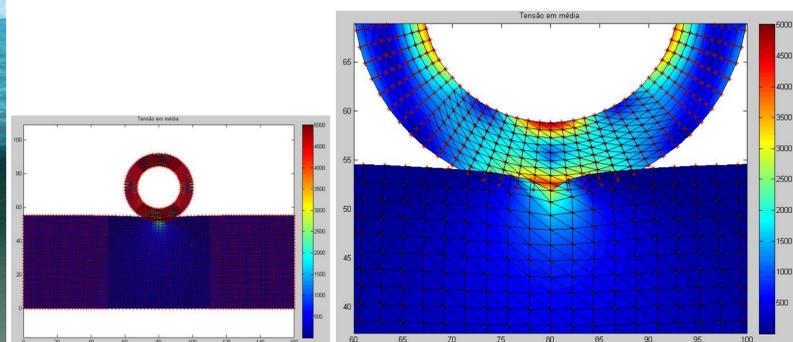


Figura 4: Distribuição de tensões encontradas no modelo em estudo.

Como podemos ver, ao aplicarmos o método de elementos finitos no modelo especificado, encontramos na região de contato a interpenetração de elementos. Como isso ocorre, foi desenvolvido um **algoritmo de contato**.

O tratamento analítico desses problemas é uma tarefa muito difícil. Tradicionalmente esses fenômenos de contato entre estruturas não são considerados. Isto só começou a mudar mais recentemente com os desenvolvimentos das técnicas numéricas de tratamento do contato e atrito. Em especial, nossa modelagem é aplicada utilizando o Método de Penalidades.

Quando formula-se o problema do contato, admite-se a existência de uma região do corpo A que pode entrar em contato com uma região de um corpo B, definimos esta região como a Região de Contato.

Para pontos dos corpos pertencentes a esta região, a seguintes condições deve ser satisfeitas:

$$g_N = g_N^0 + u_A + u_B \geq 0$$

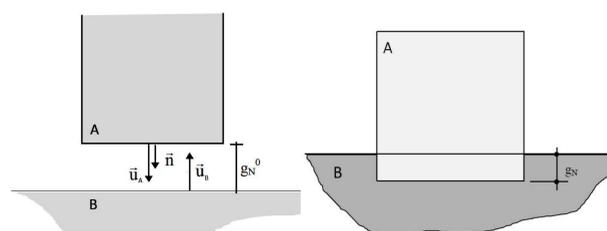


Figura 5: Modelagem da Região de Contato e Região de Contato – Penetração dos Corpos $g_N < 0$

Onde g_N é a separação final entre os dois corpos, medida na direção normal (n), u_A e u_B são os deslocamentos dos corpos também na direção normal. A restrição proposta trata da não interpenetração entre os corpos.

Analisamos que o contato ocorre quando g_N é menor ou igual a zero. Quando o contato ocorre, temos a presença de um conjunto de forças, as Forças de Contato Normais e as Forças de Contato Tangenciais.

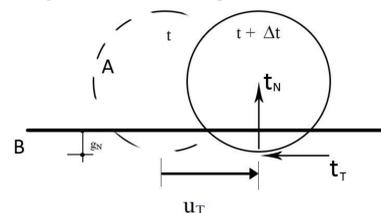


Figura 6: Aplicações das Forças Normais e Tangenciais.

Onde t_N e t_T são as forças normais e tangenciais. Aqui encontramos a presença da utilização do Método de Penalidades para determinarmos as magnitudes dessas forças. Segundo o Método de Penalidades temos que:

$$t_N = k_N \cdot g_N \quad t_T = k_T \cdot u_T$$

Onde, k_N e k_T são os penalizadores. Eles podem ser entendidos como a constante de uma mola, sua unidade é de força por unidade de distância. Temos que é a g_N interpenetração entre os dois corpos e u_T é o deslocamento tangencial da estrutura A em relação a B.

Para aplicarmos a modelagem apresentada no método de elementos finitos, inicialmente trabalhamos com a malha em caráter linear elástico. Com isso, conseguimos analisar quais são os nós do tubo que sofreram penetração nos elementos do solo. Depois de determinar esses nós em contato, nós aplicamos o método demonstrado acima. Com isso o algoritmo inicia interações, para determinar quais são os Penalizadores que irão permitir que a estrutura deixe a interpenetração com o solo. Para ocorrer um deslocamento tanto da malha da estrutura como a malha do solo, são aplicadas as forças normais e tangenciais nos respectivos nós onde encontramos a região de contato.

Nosso método de convergência trata que a distancia entre os nós em contato da estrutura com os elementos do solo deve ser de no máximo 5% do valor da parede do elemento do solo. Com esses dados encontramos boa convergência ao algoritmo.

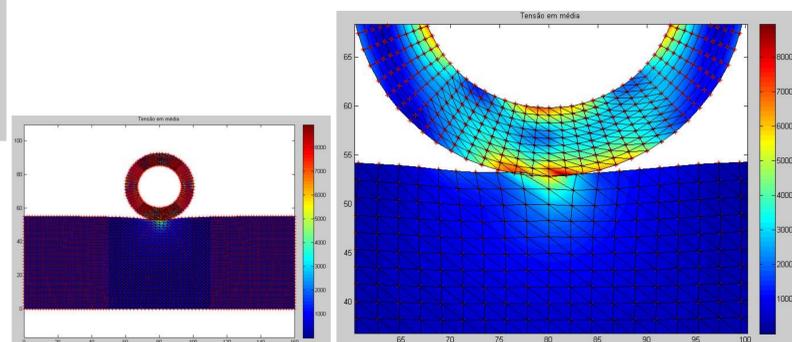


Figura 7: Distribuição de tensões encontradas utilizando o algoritmo de contato.

Fica claro como os valores de tensões sofreram variação, no primeiro caso, onde não tínhamos o algoritmo de contato desenvolvido, as tensões máximas encontradas foram perto de 5000psi. Porém ao rodarmos o mesmo problema com as mesmas restrições e carregamentos como o desenvolvimento do problema de contato, encontramos um valor máximo de tensão perto de 9000psi. Temos um aumento de em média 80% nas tensões máximas. Podemos ver que essas tensões se localizam na região do contato, tendo que ali teremos as maiores solicitações para com a estrutura.

3. Conclusões

Com a implementação do algoritmo de análise linear estática, foi possível aprender a estrutura básica de um programa de MEF, desde a maneira mais apropriada de alocar os dados de entrada e informações geométricas do problema, até os procedimentos de cálculo. Nesta etapa conseguimos desenvolver um programa capaz de calcular as deformações e tensões atuantes na estrutura, apresentando os resultados graficamente. Conforme mostrado, os resultados deste algoritmo foram validados em comparação com os resultados de um programa comercial, de forma que foi provada a eficácia do programa desenvolvido. Aplicamos este algoritmo na estrutura riser-tubo, alvo de nosso estudo, onde foi possível analisar os resultados de tensões e deformações para diferentes configurações de contato.

Em continuidade ao plano de pesquisa foi implementado um algoritmo de contato, utilizando o Método de Penalidades. Onde podemos iniciar o estudo da não-linearidade desta região no método de elementos finitos para pequenas penetrações e deformações da estrutura. Abrimos um grande leque de possibilidades para desenvolver análises com métodos mais poderosos ao método de penalidades, e também para trabalhar além da condição estática, com a condição dinâmica de carregamentos da estrutura.

Sendo o cronograma desenvolvido em sua totalidade, acreditamos no excelente desenvolvimento do projeto, agradecendo a atenção e paciência disponibilizada pelos orientadores ao longo do projeto.