

6

Conclusão

Neste trabalho foram investigados modelos numéricos para representar dutos enterrados submetidos a cargas térmicas. Modelos com base no método dos elementos finitos foram feitos utilizando o programa ABAQUS. Para a análise da flambagem global foram utilizados modelos considerando o duto como viga e o solo como mola ou, alternativamente, elementos de interface. Para a análise da flambagem local foi utilizado um modelo de viga acoplado a um modelo de casca. O trecho do duto com o maior deslocamento foi discretizado com elementos de casca, para avaliar o enrugamento. Uma análise paramétrica foi realizada para investigar os efeitos da imperfeição, rigidez vertical e axial do solo e pressão interna na resposta do duto.

Com relação aos modelos numéricos realizados utilizando os dados do trabalho experimental de Souza[19], representaram adequadamente o comportamento dos modelos experimentais tanto para os dutos retos e em zig-zag, com cobertura e sem cobertura.

Para os modelos retos utilizando os dados de Souza[19] foi observado que o valor da temperatura crítica para o duto sem cobertura foi menor que o duto com cobertura.

Observou-se que a geometria dos dutos em zig-zag foi suficiente para evitar a flambagem do duto e que o deslocamento ocorrido no duto em zig-zag é bem menor que no duto reto.

Os modelos de viga com elementos de mola e elementos de interface utilizando os dados do trabalho de Cunha e Benjamim[20] apresentaram respostas com uma pequena diferença. A temperatura crítica para o modelo com elementos de mola foi menor do que para o modelo com elementos de interface. Isso se deve ao fato de que no elemento de mola a localização da mola está somente nos nós da viga e no elemento de interface o elemento está em contato em toda a extensão da viga. Portanto o elemento de interface restringe mais os deslocamentos que ocorrem na viga quando comparado com o elemento de mola. Restringindo os deslocamentos, o valor da temperatura crítica aumenta.

O modelo de viga-casca utilizando os dados do trabalho de Cunha e Benjamim[20] apresentou resposta temperatura versus deslocamento muito semelhante à resposta utilizando apenas elementos de viga e elementos de interface. Esse tipo de modelagem pode portanto ser utilizada para verificar a flambagem local.

Utilizando os dados do trabalho de Cunha e Benjamim[20], foram realizadas análises paramétricas para diferentes condições de imperfeição, rigidez vertical e axial do solo e pressão interna.

Com relação à amplitude da imperfeição, foi observado que com o aumento da mesma, o comportamento do duto afasta-se do modelo teórico sem imperfeição de Hobbs[29]. Adotando-se valores maiores para as amplitudes observa-se que, para algumas funções de imperfeição, a flambagem não ocorreu. Com relação a temperatura crítica, esta diminuiu com o aumento do valor da amplitude. As funções de forma da imperfeição senoidal e polinomial de quinto grau apresentaram um comportamento mais próximo do modelo teórico sem imperfeição. A estrutura se apresentou muito sensível às funções que descrevem a forma da imperfeição e a amplitude da imperfeição.

Foram desenvolvidos modelos para o caso do acidente da Baía de Guanabara em 2000 utilizando os dados de Battista, Pasqualino e Alves[21]. Comparando-se os resultados usando geometrias diferentes, bem como uma discretização do duto com refinamento da malha levando em conta a concentração de deformação, observou-se que a resposta da estrutura aproximou-se bastante do comportamento observado no duto PE-2 da Petrobrás. Esta observação fortalece a conclusão de que a forma da imperfeição é importante na modelagem do duto.

Da análise da influência da rigidez vertical do solo, foi observado que com o aumento do valor da rigidez a temperatura crítica aumentou. Isso era esperado, pois a rigidez vertical do solo está ligada ao cobrimento do solo (H) e, quanto maior este cobrimento, mais resistência à flambagem vertical será desenvolvida, aumentando a temperatura crítica.

Observou-se para os modelos com diferentes fatores da rigidez axial do solo, a qual representa o atrito desenvolvido na interface solo-duto, que não ocorre alteração na temperatura crítica, já que a flambagem que está ocorrendo no duto é na direção vertical. A temperatura mínima, também chamada temperatura de segurança, sofre um pequeno aumento com o aumento da rigidez axial. Este efeito foi maior com o aumento da rigidez vertical.

Para os modelos com pressão interna e sem pressão interna, foi observada uma pequena diferença na temperatura crítica, e esta é menor para o duto com pressão interna.

Sugestões para trabalhos futuros

- Desenvolver modelos numéricos comparando os diferentes modos de flambagem lateral.
- Comparar a interação solo-duto considerando o solo com diferentes modelos constitutivos.
- Realizar análises paramétricas comparando duto elástico e duto elasto-plástico.
- Análise de fadiga térmica de linhas de dutos
- Desenvolvimento de modelos que representem a interação recíproca solo-duto, onde o solo se desloca com o movimento do duto apresentando grandes deformações elasto-plásticas.