

1

Introdução

Alguns dutos enterrados operam transportando vários tipos de fluidos, como óleos e água. Estes fluidos são transportados com temperaturas diferentes. Em alguns casos é aumentada a temperatura do fluido para facilitar o seu transporte ou para a prevenção da reidratação de hidrocarbonetos durante a operação. As linhas de fluxo podem atingir altas temperaturas, em torno de $70^{\circ}C$ a $85^{\circ}C$. Em alguns casos essa temperatura pode ser ainda maior como relatado em Almeida et al.[1] sobre a temperatura de operação dos dutos da Refinaria Reduc que passam pela Baía de Guanabara, sendo esta temperatura de $95^{\circ}C$. Estas variações de temperatura provocam expansão dos dutos que por sua vez causam um carregamento de compressão longitudinal. O carregamento de compressão quando ultrapassa os valores da carga crítica provoca instabilidade no duto. Ocorrem nestes sistemas estruturais dois tipos de instabilidade global: a flambagem vertical (upheaval buckling) e a flambagem lateral (snaking buckling). Ambos serão abordados neste trabalho.

Para a análise de instabilidade de dutos aquecidos existem muitos modelos teóricos tomando como base uma formulação já desenvolvida para trilhos de trem. Esta analogia é feita, pois o comportamento de ambos os sistemas quando submetidos a cargas térmicas é semelhante. Estes modelos teóricos de trilhos de trem foram desenvolvidos por Martinet[2], Kerr [3, 4, 5] e Marek e Daniels[6].

Em especial, dutos que transportam óleo são focados no presente trabalho. O bom entendimento do seu comportamento e sensibilidade aos parâmetros de projeto são necessários para o desenvolvimento de ferramentas para o dimensionamento de dutos enterrados, com vistas à minimização da ocorrência de ruptura destes com conseqüências graves para o meio ambiente. Para uma visão da quantidade de óleo que vaza e vai para o meio ambiente, é feito a seguir um breve histórico de alguns acidentes ocorridos no Brasil. A primeira ocorrência de acidentes com dutos no Brasil é relatada em outubro de 1984 onde 3 milhões de litros de óleo vazam em Bertioga de um oleoduto da Petrobrás. Em 18 de janeiro de 2000 ocorreu o rompimento de um duto da Petrobrás que liga a Refinaria Duque de Caxias ao terminal da Ilha d'Água, provocando o

vazamento de 1,3 milhão de litros de óleo combustível na Baía de Guanabara. Em 16 de julho de 2000 quatro milhões de litros de óleo foram despejados nos rios Barigüi e Iguaçú, no Paraná. Um vazamento de óleo atingiu 30km das praias do litoral norte baiano em 11 de agosto de 2001. Estes acidentes causaram danos à flora, à fauna e à vida da população ribeirinha que depende da pesca.

Algumas áreas necessitam de um maior cuidado no dimensionamento e no projeto geométrico de linhas de dutos, pois apresentam condições onde a instabilidade do duto é maior. Alguns exemplos destas condições são: região ártica, onde a diferença de temperatura entre o duto e o solo é muito grande, regiões de sismos, regiões com grandes recalques do solo. No trabalho de Luscher, Black e Nair[7] é realizada uma análise de um duto que passa pelo Alaska, tendo fortes condições adversas como o clima e movimentos sísmicos.

O objetivo deste trabalho é o estudo do comportamento de dutos enterrados sujeitos a cargas térmicas, com ênfase na estabilidade destas estruturas. Para tal, foram desenvolvidos modelos numéricos com base no método dos elementos finitos. Diferentes modelos foram empregados desde modelos de viga-elementos de interface ou viga-mola até modelos mistos de viga-casca, onde parte do duto é discretizado como viga e outra parte como casca. Foram considerados dutos retos, dutos em zig-zag e um caso real de um acidente que ocorreu na Baía de Guanabara em 2000. Os resultados numéricos foram comparados com resultados teóricos, experimentais e casos reais. Para identificar melhor os fatores mais determinantes do modelo na flambagem térmica de dutos, foi realizada uma análise paramétrica. Foram investigados a melhor forma e amplitude da imperfeição para ser utilizada na modelagem de dutos retos. Foram também analisados os valores para os coeficientes de rigidez na direção vertical e axial do solo bem como a pressão interna a qual o duto está submetido.

Esta dissertação é dividida em seis capítulos. No segundo capítulo será abordada a estabilidade de dutos e o comportamento de pós flambagem destas estruturas. O método de Riks, utilizado para a análise de comportamento de estruturas instáveis, será apresentado neste mesmo capítulo. Serão também abordados neste mesmo capítulos considerações com relação à flambagem local, à pressão interna e à carga térmica em dutos.

No capítulo três serão apresentados os modelos teóricos para a flambagem vertical e lateral de dutos. Os modelos para a interação solo-duto nas direções vertical, lateral e axial também serão apresentadas neste capítulo. Para a flambagem vertical serão apresentados modelos com e sem imperfeição inicial. Nos modelos teóricos para a flambagem lateral serão apresentados os modelos

para quatro modos de flambagem.

No capítulo quatro serão apresentadas comparações de modelos teóricos, experimentais e estudos de caso com modelos numéricos desenvolvidos com o auxílio do programa ABAQUS. As análises paramétricas são apresentadas no capítulo cinco. As análises paramétricas realizadas englobaram a variação de parâmetros como: imperfeição, rigidez vertical do solo, rigidez axial do solo e pressão interna no duto.

As conclusões finais do trabalho estão relacionadas no capítulo seis.