

1 Introdução

Na indústria do petróleo, as operadoras de dutos utilizam uma grande variedade de métodos para avaliar, inspecionar e monitorar centenas dos milhares de dutos de transmissão existentes e que estão em operação no mundo todo. Dentre essas atividades incluem-se a proteção catódica, programas de detecção de vazamentos, escavações para procurar por corrosões ou falhas de revestimento, testes hidrostáticos e ferramentas de inspeção que viajam por dentro do duto. A combinação desses procedimentos constitui o programa total de garantia da integridade do duto.

Uma das principais preocupações nas atividades de inspeção são as perdas nas paredes da tubulação que podem ocorrer devido à corrosão, onde a espessura se reduz progressivamente até o início de um eventual vazamento. Para detectar este tipo de problema, o Magnetic Flux Leakage (MFL) é o método de inspeção mais utilizado para localizar regiões de perda de metal em dutos de transmissão de combustível. Este método utiliza uma fonte estática de campo magnético onde a parede da tubulação metálica é utilizada como parte de um circuito magnético e as variações na espessura das paredes alteram o fluxo magnético no circuito. As variações neste fluxo magnético defletido indicam a perda de massa metálica localizada e a profundidade dos defeitos é correlacionada com a amplitude das variações. Espiras de indução são os tipos de sensores mais utilizados nas ferramentas de inspeção com MFL, pois elas não requerem uma fonte muito intensa. Ao invés disso, uma tensão é gerada em uma espira passiva de fio (ou em circuito impresso) quando ela passa através de um campo magnético variável. Um dispositivo mede esta tensão, que é proporcional a variação na densidade de fluxo [1]. Uma das limitações com MFL é a dificuldade de identificar se a variação na parede ocorre na região interna ou externa da tubulação.

Alternativamente ao campo magnético estático, neste trabalho será explorada a possibilidade de utilizar um dispositivo que emprega uma onda eletromagnética se propagando no interior do duto para inspecionar as paredes

internas do duto. Como as dimensões da parede metálica definem as características da onda, as variações nesta parede serão associadas às variações na distribuição de campo no interior do dispositivo. Devido às características singulares das perturbações que podem existir nas paredes, métodos numéricos que discretizam o domínio mostram-se mais versáteis para descrever as modificações nas paredes e para determinar a distribuição de campo no interior destes dispositivos.

Neste trabalho será utilizado o Método de Elementos Finitos (MEF) para calcular o campo eletromagnético no interior do duto e associar as variações de amplitude com as dimensões das perturbações nas paredes. Esta técnica se mostra especialmente atraente no projeto de estruturas pouco convencionais devido à simplicidade de implementação e à versatilidade, que se caracteriza pela capacidade da técnica de se adaptar, de modo eficiente, a uma diversidade dos meios no interior dos dutos. O MEF tem a particularidade de poder dividir o meio contínuo em uma série de elementos com forma geométrica simples, aos quais podem se associar diferentes propriedades físicas [2-5]. Em uma segunda etapa, um conjunto de funções válidas no interior de cada elemento é utilizado para representar o campo magnético no interior de um elemento. Neste trabalho serão utilizados elementos triangulares e funções base lineares para representar o campo no interior da cada elemento triangular. Esta expansão é utilizada para aproximar a equação diferencial que rege o problema a ser analisado, por meio de um sistema de equações que utiliza valores de domínio e de contorno, sendo, por isso, também chamado de método de domínio. Para se obter uma resposta aceitável é necessária uma grande discretização de todo o domínio. Dessa forma, gera-se um sistema de equações com um grande número de variáveis [3].

Para fazer a análise de campo magnético no interior do duto, o dispositivo utilizado será representado por uma estrutura coaxial sustentada por discos plásticos espessos, como mostrado na figura 1.1. Para este estudo, o disco metálico é colocado equidistante entre os discos plásticos de sustentação e os diâmetros dos cilindros interno e externo são dimensionados para que exista a propagação exclusiva do modo TEM na região entre esses discos plásticos. A tubulação metálica externa da estrutura coaxial é a própria parede do duto de petróleo e a tubulação metálica interna é parte do dispositivo.

O Capítulo 2 apresenta a formulação eletromagnética do problema onde são introduzidas as características de simetria da estrutura metálica coaxial, da fonte TEM e as aproximações apresentadas nas Referências [4,5]. Além disto, o Método de Galerking é utilizado para transformar as equações diferenciais em integrais. No capítulo 3 é mostrada a aplicação do MEF na resolução desta equação de onda na forma integral. Para validação do algoritmo desenvolvido para solução via MEF, este é aplicado a um conjunto de geometrias apresentadas em [1] e os resultados comparados aos obtidos via Método de Casamento de Modos. No Capítulo 4, o Método de Elementos Finitos é utilizado para determinar a distribuição de campo no interior do modelo de dispositivo a ser investigado. Nesta primeira etapa do estudo, perturbações retangulares são introduzidas na parede da tubulação e as variações do campo são identificadas. Quando comparada com a distribuição em uma tubulação sem perturbação, a amplitude e a localização das variações de campo são associadas com a posição e as dimensões das perturbações nas paredes. As limitações do método são discutidas no Capítulo 5.

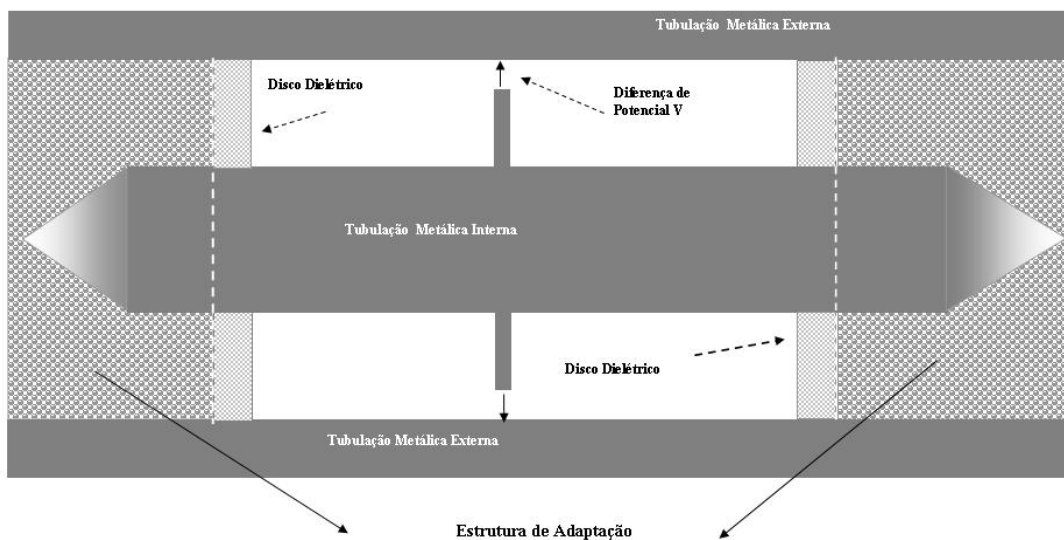


Figura 1.1.: Dispositivo de inspeção do duto.