

2 Sistemas de Medição de Corrosão Interna em Dutos

Neste capítulo é apresentado um breve estudo das técnicas e sistemas de detecção e avaliação de corrosão interna mais comumente utilizada em dutos, salientando os conceitos fundamentais e as principais características de cada técnica de medição. O objetivo é mostrar que a inspeção com pigs instrumentados é o procedimento principal e mais eficaz entre os diferentes sistemas de medição indiretos utilizados para a detecção e dimensionamento de defeitos causados pela corrosão interna, tanto na prevenção quanto na localização dos mesmos.

2.1 Tipos de Corrosão Interna em Dutos

Este tópico define e classifica os tipos de corrosão normalmente encontrada em dutos [1, 8, 9, 10]. As causas de cada tipo de corrosão envolvem as características de operação e dos materiais (metais) empregados no duto, e geralmente são difíceis de prever e determinar. Assim, como a velocidade de crescimento da corrosão, que é atribuída a diferentes fatores físicos e químicos do sistema.

- **Corrosão uniforme ou generalizada**

A corrosão uniforme é caracterizada pelo ataque em toda a superfície metálica que está em contato com o meio corrosivo. Pode às vezes ser combinada com erosão pela alta velocidade de escoamento do fluido. Este tipo de corrosão causa diminuição homogênea ou uniforme da espessura do duto. Sua ação de desgaste homogêneo proporciona perda de resistência mecânica causada pela redução de espessura e o aumento das tensões de operação, encurtando a vida útil

do duto e aumentando o risco de falhas. A taxa de corrosão uniforme é relativamente previsível. A Figura 1 mostra um tubo de oito polegadas com corrosão uniforme generalizada [9].



Figura 1 - Corrosão interna generalizada

• Corrosão puntiforme

A corrosão puntiforme é uma forma de corrosão muito localizada que consiste na formação de pequenas cavidades de profundidades elevadas em comparação com seus diâmetros. Esta corrosão possui profunda penetração na superfície atacada e em geral aparece com uma pequena envoltória de corrosão uniforme. Na maioria dos casos, os *pits* são alargados ao longo de toda a superfície metálica e criam uma superfície de perfil irregular. Geralmente aparece devido à existência de depósitos de detritos, óxido de ferro e substâncias orgânicas, tratando-se de um tipo de corrosão cujo acompanhamento é mais difícil. A Figura 2 apresenta a fotografia da corrosão puntiforme [9].



Figura 2 – Corrosão puntiforme

- **Corrosão galvânica**

O contato elétrico entre materiais diferentes resulta no processo corrosivo conhecido como corrosão galvânica. A intensidade deste tipo de corrosão será proporcional a diferença entre valores de potencial eletroquímico dos materiais. Geralmente é encontrada em dutos *offshore* onde existe a presença de água produzida juntamente com o petróleo. Ocorre a formação de uma pilha ou célula galvânica de corrosão onde metais menos nobres (mais eletronegativos), chamados de ânodos, perdem material para os íons da água do mar que os levam até os metais mais nobres (menos eletronegativos), chamados de catodos. Este conceito de corrosão galvânica é aplicado no uso de proteção catódica em dutos, introduzindo-se um anodo de sacrifício para oxidação. O escoamento de fluidos também pode acelerar os processos corrosivos, pois a ação mecânica do escoamento acarreta efeitos como a corrosão galvânica. A Figura 3 apresenta a fotografia de corrosão galvânica em um tanque [9].



Figura 3 - Corrosão Galvânica

- **Corrosão alveolar**

A corrosão alveolar é caracterizada quando a perda de massa do material atacado acontece de forma localizada e com aspecto de crateras. Seu fundo tem formato arredondado ou alveolar e possui diâmetro maior que sua profundidade. Geralmente aparecem quando o processo de corrosão acontece sob o depósito de detritos carregados pelo fluido escoado. A Figura 4 apresenta a fotografia de uma corrosão galvânica em um tubo [9].



Figura 4 - Corrosão alveolar sob depósito

- **Corrosão bacteriana**

Microbiologically influenced corrosion (MIC) é a corrosão resultante da presença de atividades de microrganismos, incluindo bactérias e fungos. O crescimento bacteriano no interior das paredes de dutos e sistemas de processamento é um problema comum em muitos campos de petróleo em todo o mundo. Este crescimento vem de micróbios naturalmente presentes no petróleo. Estes micróbios aderem à parede do tubo e formam um biofilme bacteriano, ou lama, que se torna um terreno fértil para bactérias. Durante o seu ciclo metabólico, as bactérias produzem resíduos corrosivos causando o processo de corrosão por MIC.

2.2

Sistemas de Monitoração de Corrosão Interna

Esses sistemas de detecção e monitoração da corrosão são realizados através de cupons de perda de massa e/ou coleta de resíduos do fluido.

No caso do uso de cupons de perda de massa [11, 12, 13], ou técnica de monitoração gravimétrica, a técnica consiste basicamente na avaliação da taxa de corrosão. Esta taxa de corrosão é determinada através de perda de massa sofrida por cupons ou provadores de corrosão por tempo. Os cupons de corrosão são

pequenas chapas em aço carbono que são introduzidos nas tubulações e dutos em operação por meio de orifícios próprios ou comumente chamados de pontos provadores de corrosão. As informações básicas que essa técnica produz são as formas de corrosão, localizada e/ou uniforme, e a perda de espessura do cupom dentro do período em exposição, ou taxa de corrosão. No entanto, nota-se que o processo de monitoração de corrosão será mais eficiente quando o tratamento de dados adquiridos é relativo apenas a uma quantidade pequena de unidades ou pontos com provadores instalados. Portanto, quando o número de provadores é grande, como no caso da Bacia de Campos no Rio de Janeiro, a relação custo x benefício dessa monitoração torna-se baixa. A Figura 5 mostra alguns tipos de cupons de corrosão [13].

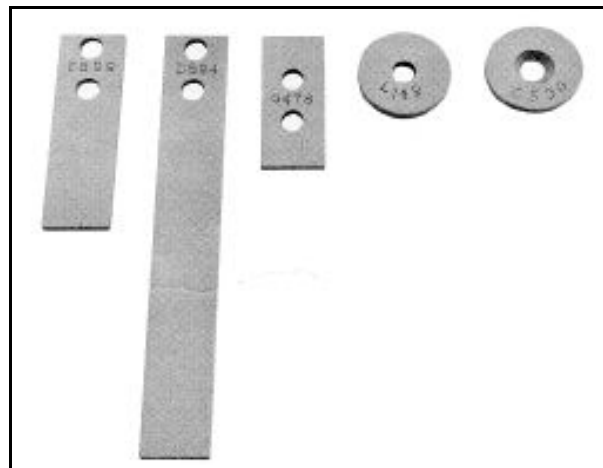


Figura 5 - Cupons de corrosão

Já a coleta de resíduos em diferentes pontos da tubulação é importante para verificar e conhecer os mecanismos de corrosão. Esses resíduos geralmente são abrasivos e capazes de danificar equipamentos, válvulas e acessórios causando transtornos operacionais, danos em unidades processadoras e produtoras de petróleo. Os resíduos são coletados periodicamente nos pontos pré-determinados e levados para a análise em laboratório, que fazem o acompanhamento do perfil corrosivo característico de cada tubulação. Dentre as técnicas utilizadas na análise do resíduo sólido pode-se citar: fluorescência de raios-x, difração de raios-x, espectro de absorção atômica e microscopia eletrônica de varredura [11]. Assim

como os cupons de corrosão, a avaliação desses resíduos não determina a localização dos defeitos oriundos da corrosão.

2.3

Pigs instrumentados

Os pigs instrumentados são equipamentos amplamente utilizados nas inspeções de dutos, essas ferramentas baseiam-se em diferentes tipos de técnicas de medição, seja para detecção de perda de espessura por corrosão interna e/ou externa, amassamentos ou vazamentos no duto. Estes equipamentos são capazes de deslocar-se dentro do duto a partir da própria energia de bombeio do fluido interno. A diferença de pressão à jusante e montante dos copos de tração do pig, criada no transporte do fluido, impulsiona o mesmo pelo duto. São constituídos em geral por módulos com vasos de pressão sustentados por copos de poliuretano, dentro dos quais está instalada uma eletrônica embarcada de aquisição de dados e bateria, contando ainda com hodômetros para registro da distância ou posição. Os dados adquiridos durante a inspeção são analisados com a finalidade de relatar a localização de eventuais defeitos na parede do duto, bem como a sua posição horária e longitudinal [14]. Assim, baseando-se no relatório pós-inspeção do pig instrumentado e de acordo com as normas e critério de avaliação de dutos, como ASME B31G ou RSTRENG [15], os engenheiros responsáveis pelo duto decidem quais ações preventivas e/ou corretivas devem ser realizadas.

Atualmente, os métodos de detecção corrosão mais utilizados são baseados em magnetismo ou ondas acústicas ultrassônicas. Neste contexto, o presente trabalho descreve no Capítulo 3 o desenvolvimento de um pig instrumentado baseado em um sensor de geometria de alta sensibilidade capaz de detectar e dimensionar defeitos geométricos na parede interna do duto devido à ação da corrosão. Os próximos tópicos fornecerão conhecimentos básicos sobre a tecnologia empregada e aplicação técnica de pigs instrumentados convencionais mais usados pela indústria petrolífera.

2.3.1

Pig Magnético MFL

O Pig Magnético M.F.L. (*Magnetic Flux Leakage*) é um equipamento capaz de detectar defeitos de perda de espessura, interna ou externa, em dutos metálicos, causados normalmente pela corrosão de suas paredes. Geralmente esses equipamentos possuem dois ou mais módulos, usando magnetos ou imãs potentes para magnetização da parede do duto e sensores para detecção da perda de espessura. O Pig Magnético realiza a medida indireta de perda de espessura, pois a técnica de medição utilizada pelos sensores registra apenas o campo magnético de fuga devido à perda de metal ou espessura do duto. A Figura 6 mostra um pig magnético, que normalmente é identificado pelas escovas de aço de magnetização da parede do duto.



Figura 6 - Pig Magnético

Além deste módulo magnético, o pig magnético possui outro módulo com sensores discriminadores de corrosão interna e externa, e com hodômetros normalmente fixos no final da ferramenta. Os vasos de pressão contêm bateria e eletrônica embarcada de aquisição de dados. As escovas do módulo magnético estão dimensionadas para ficar sempre em contato com a parede do duto, e são fixadas em magnetos distribuídos em volta do corpo do módulo magnético do pig. Assim, forma-se um circuito magnético através do fluxo magnético constante na

parede do duto que é o elemento primário de medição dos sensores *Hall MFL*. Os sensores magnéticos são estrategicamente colocados no meio das escovas para detectar eventuais fluxos de fuga de campo magnético associados à perda de espessura e descontinuidade de material como trincas. A técnica consiste em submeter um material ferromagnético, como os dutos metálicos, a um campo magnético intenso, saturando o material magneticamente permeável. Este campo magnético é introduzido no metal através de um par de ímãs ou magnetos, criando-se um dipolo magnético. Durante a inspeção quando é encontrada alguma descontinuidade ou perda de material, ocorre o desvio do campo magnético aplicado no material para o ar. A quantidade de fluxo que é desviado para fora da parede da tubulação depende proporcionalmente da geometria do defeito, tais como profundidade, comprimento e largura. Calibrando-se o sistema de detecção do campo magnético de fuga, consegue-se dimensionar defeitos geométricos em metais ferromagnéticos.

A figura abaixo ilustra o aparecimento do fluxo magnético de fuga quando um pite na parede do duto é encontrado. Isto é detectado, em geral, por um sensor *Hall* fixo entre as escovas de acoplamento de fluxo magnético do pig instrumentado.

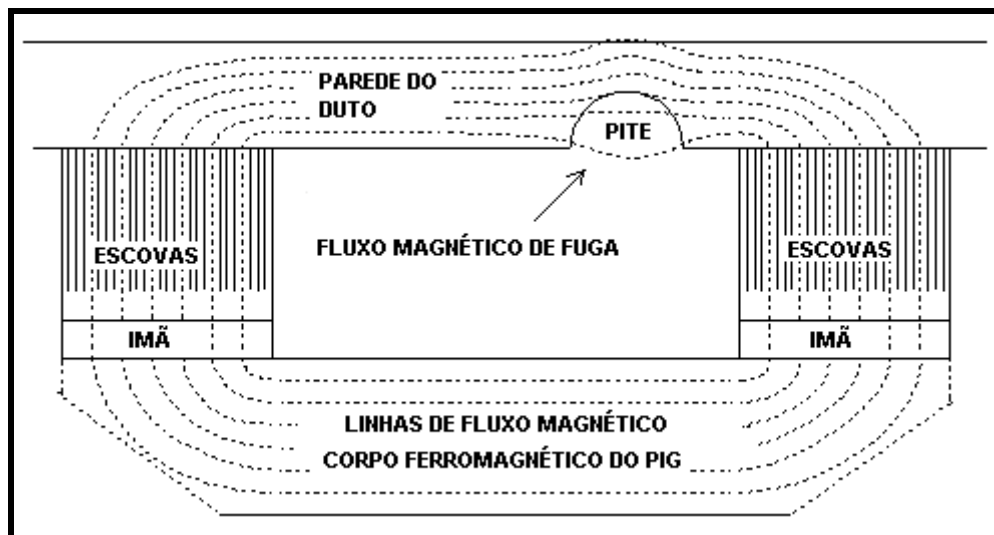


Figura 7 - Esquemático do fluxo magnético de fuga na parede do duto

2.3.2

Pig Ultrassônico

O Pig Ultrassônico (Pig US) usa sensores acústicos que medem a diferença do tempo de propagação dos ecos refletidos nas interfaces das superfícies da parede interna e externa do duto. Normalmente essas ferramentas possuem três ou mais módulos, onde os sensores ultrassônicos ficam distribuídos ao longo do corpo do pig. Ao contrário do Pig Magnético, o Pig US traça o perfil de espessura do duto ao longo da inspeção. A eletrônica embarcada do Pig US é geralmente mais complexa que outros pigs instrumentados convencionais, pois precisa excitar e detectar o sinal ultra-sônico numa taxa aquisição elevada. O Pig US detecta e dimensiona perdas de espessura provocadas pela corrosão, seja esta interna ou externa, traçando o perfil de espessura remanescente do duto. Outros tipos de defeitos em dutos como trincas são detectadas em geral pela técnica de ultrassom.



Figura 8 - Pig Ultra-Sônico

A tecnologia utilizada pelo Pig US convencional produz resultados excelentes dependendo da sua aplicação [14], no entanto o sucesso da inspeção depende diretamente do fluido do duto. A técnica de medição por ultrassom necessita de um meio homogêneo para a propagação das ondas acústicas, o que nem sempre é comum de se encontrar em dutos de petróleo. O escoamento

multifásico de fluidos é predominante nos campos de produção *offshore* de petróleo, e existem situações onde é possível encontrar água, óleo e gás num único produto. Uma solução típica é a introdução de um "colchão de diesel" para servir de fluido acoplante durante a inspeção, mas este tipo de operação depende do processo de escoamento e tratamento do fluido.

Atualmente, já existem ferramentas disponíveis no mercado que combinam a técnica de detecção magnética *M.F.L.* com as ondas acústicas do Pig US.

2.3.3

Pig Geométrico

Os Pigs Geométricos [2] possuem uma eletrônica embarcada e um conjunto de sensores que percorrem o interior do duto adquirindo informações sobre a geometria das tubulações como: amassamentos, variações de diâmetro, mossas, ovalizações, incrustações e outras restrições internas. Os sensores geométricos são posicionados, em geral, abaixo do copo de poliuretano e detectam uma eventual anomalia. Este defeito causa um movimento angular da haste do sensor em relação ao seu eixo, fixado na base do flange, assim o sensor de posição dentro desta base gera um sinal analógico proporcional a variação de diâmetro interno.



Figura 9 - Pig Geométrico

Geralmente, o Pig Geométrico convencional é utilizado em dois momentos, durante a construção do duto para levantar as características geométricas da linha e na monitoração de dutos em operação, e para identificar qualquer restrição ou anomalia geométrica que possa ter ocorrido durante a vida útil da linha e inviabilize a inspeção com pigs instrumentado [14]. Os Pigs Geométricos do mercado não detectam corrosão interna, todavia detectam anomalias ou defeitos geométricos da ordem da espessura do duto em geral.