

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Avaliação de corrosão em chapas de fundo de tanques de armazenamento de petróleo através da técnica de MFL - *Magnetic Flux Leakage*

Emanuel Santana da Costa^a, Luiz Carlos Lima de Medeiros^b, Cícero Roberto de Oliveira Moura^c, Fábio Campos Morais^d, Marcus Vinícius Diamantino S. Oliveira^e

Abstract

Storage tanks are boiler equipments, subject to approximately atmospheric and intended primarily for the storage of oil and oil pressure. It was usually built on thin sheets of carbon steel, and supported by reinforced concrete foundations on the ground. The importance of ensuring the operation without the occurrence of holes and leaks of products for the environment is mainly determined by the integrity of the bottom plates, which are exposed to the action of the stored product, highlighting the presence of fluids containing chlorides and external surface atmospheric corrosion and corrosion by soil. This study evaluates the occurrence of corrosion in a tank oil storage detected by non-destructive inspection technique to detect the leakage field, better known by the acronym MFL Magnetic Flux Leakage English. The MFL technique showed a steeper corrosion behavior of the outside and especially in the periphery relative to the center of the product. Additional inspections were conducted by measuring thickness by ultrasound and removing disks bottom plate used as counter-evidence. A correlation of the results of the techniques used. The results show the importance of reducing the uncertainties of the inspection process and based on the use of modern techniques of inspection, optimize resources by reducing maintenance time and investment needed to repair materials without incurring the security risks and how to form ensure reliability.

Keywords: corrosion, MFL, storage tank.

Resumo

Os tanques de armazenamento são equipamentos de caldeiraria, sujeitos à pressão aproximadamente atmosférica e destinados, principalmente, ao armazenamento de petróleo e seus derivados. São construídos normalmente em chapas finas de aço carbono, e apoiados em fundações de concreto armado sobre o solo. A importância de garantir a operação sem a ocorrência de furos e vazamentos de produtos para o meio-ambiente é determinada

^a Especialista, Engenheiro de Produção Mecânica, Técnico de Inspeção de Equipamentos – PETROBRAS

^b Especialista, Engenheiro de Equipamentos – PETROBRAS

^c Mestre, Gerente de Inspeção de Equipamentos – PETROBRAS

^d Mestre, Engenheiro de Equipamentos – PETROBRAS

^e Técnico de Inspeção de Equipamentos, SERVICE Engenharia

principalmente pela integridade das chapas de fundo, que estão expostas à ação do produto armazenado, com destaque para a presença de fluidos com cloretos e na face externa a corrosão atmosférica e corrosão pelo solo. O presente trabalho avalia a ocorrência de corrosão em um tanque de armazenamento de petróleo detectada pela técnica de inspeção não destrutiva de detecção do campo de fuga, mais conhecida pela sigla MFL do inglês *Magnetic Flux Leakage*. A técnica MFL evidenciou um comportamento mais acentuado de corrosão pelo lado externo e principalmente na periferia em relação ao centro do equipamento. Inspeções complementares foram realizadas através de medição de espessura por ultrassom e da remoção de discos de chapa de fundo utilizadas como contra-prova. Observou-se correlação nos resultados das técnicas utilizadas. Os resultados mostram a importância de reduzir as incertezas do processo de inspeção e baseado na utilização de técnicas modernas de inspeção, otimizar os recursos reduzindo o tempo de manutenção e os investimentos em materiais necessários aos reparos, sem incorrer em riscos à segurança e como forma de garantir a confiabilidade.

Palavras-chave: corrosão, MFL, tanque de armazenamento.

Introdução

Os tanques de armazenamento são equipamentos destinados ao armazenamento de petróleo e seus derivados. São construídos de acordo com os requisitos definidos pelo código americano API 650 usando normalmente chapas finas de aço carbono, unidas através de soldagem, e apoiados em fundações de concreto armado sobre o solo^[1]. A importância de garantir a operação sem a ocorrência de furos e vazamentos de produtos para o meio-ambiente é determinada principalmente pela integridade das chapas de fundo, que estão expostas à ação do produto armazenado, com destaque para a presença de fluidos com cloretos e na face externa a corrosão atmosférica e corrosão pelo solo. A corrosão em chapas de fundo de tanques de armazenamento se dá nas duas faces através de mecanismos de corrosão simultâneos, porém independentes. Na face superior a chapa de aço fica em contato com a agressividade do fluido armazenado, podendo ocorrer corrosão pelo petróleo, pela água e sedimentos com destaque para a presença de ácidos e sais. Além da corrosão microbológica, dentre outras. Uma das formas de minimizar a corrosão nesta face é a proteção por barreira através da pintura. Outra forma é através da proteção catódica, que consiste na utilização de anodos de sacrifício imersos no fluido. Na face oposta ocorre o contato e a consequente corrosão pelo solo e a corrosão atmosférica. Nesta região uma das poucas formas de minimizar os efeitos da corrosão se dá através da impermeabilização da base do equipamento ou da proteção catódica por corrente impressa. Os tanques após um período de operação contínua, denominado de campanha, e que tem duração entre 10 anos e 20 anos, procede-se a manutenção geral do equipamento, que inicia-se com o esvaziamento e a posterior limpeza do equipamento. Por uma óbvia limitação física, tem-se acesso visual apenas a face superior da chapa. A inspeção da face inferior é normalmente realizada através da remoção de discos da chapa de fundo de tanque com diâmetro de 500mm removidos em diferentes regiões na periferia e no centro do tanque. Também é realizada a medição de espessura por ultrassom. Cabe ressaltar que esta medição apesar de ser realizada em todas as chapas, se dá apenas de forma pontual, o que é o bastante para detectar corrosão uniforme. A grande dificuldade da inspeção das chapas de fundo de tanques é pela ocorrência de corrosão alveolar e em pites, o que resulta em baixa detectabilidade e pouca confiabilidade. O presente trabalho avalia a

ocorrência de corrosão nas chapas de fundo de um tanque de armazenamento de petróleo inspecionado com apoio da técnica de inspeção não destrutiva de detecção do campo de fuga, mais conhecida pela sigla MFL do inglês *Magnetic Flux Leakage*. A técnica MFL consiste na magnetização da região de interesse de inspeção e no tratamento da perturbação do sinal do campo magnético ocasionado pelas descontinuidades, incluindo as perdas de espessura por corrosão.

Detector Magnético de Corrosão são todas as ferramentas de inspeção não-destrutiva que empregam a técnica de detecção do campo de fuga (MFL) provocada pela presença de processo corrosivo em chapas de aço carbono. Os equipamentos para detecção magnética de corrosão de forma geral utilizam o mesmo princípio físico. Os dispositivos para magnetização da região da chapa a inspecionar, os elementos sensores do campo de fuga causado pela presença de corrosão e as formas de apresentação de resultados é que são diferenciados e influenciam na confiabilidade / qualidade dos resultados do ensaio ^[1]. Quanto à forma de magnetização da região da chapa a inspecionar dois sistemas existem: aqueles que empregam ímãs permanentes e aqueles que usam eletroímãs, esses últimos costumam ser mais volumosos e pesados dificultando sua operação. Quanto aos elementos sensores do campo de fuga duas tecnologias são empregadas: sensores do tipo bobina indutiva (*pick up coils*) e os sensores *hall* ^[4]. Os primeiros são sensores ditos dinâmicos e requerem que a propriedade medida seja alterada para apresentar uma resposta. Os segundos são conhecidos como sensores estáticos e não requerem mudança do campo magnético para apresentação de resposta. Os sensores do tipo bobina indutiva são suscetíveis a velocidade de varredura e uma tendência tecnológica é sua substituição pelos de efeito *hall*. Normalmente os aparelhos que empregam bobina indutiva cobrem uma faixa de varredura menor que os de efeito *hall* que usam vários sensores concomitantemente. Na parte de apresentação de resultados é que existe uma maior diferenciação entre os aparelhos. Indo desde aparelhos totalmente analógicos, em que o resultado da inspeção é apresentado como um sinal num osciloscópio, até sistemas mais sofisticados que empregam codificadores de posição da ferramenta e apresentam o resultado como gráficos coloridos, reprodução da planta do tanque com as indicações nos locais de ocorrência das mesmas. Alguns possuem até *software* que permite ao cliente analisar individualmente todas as indicações tendo informações não só da redução de espessura para a posição do fundo do tanque selecionada, como também o sinal produzido ^[2].

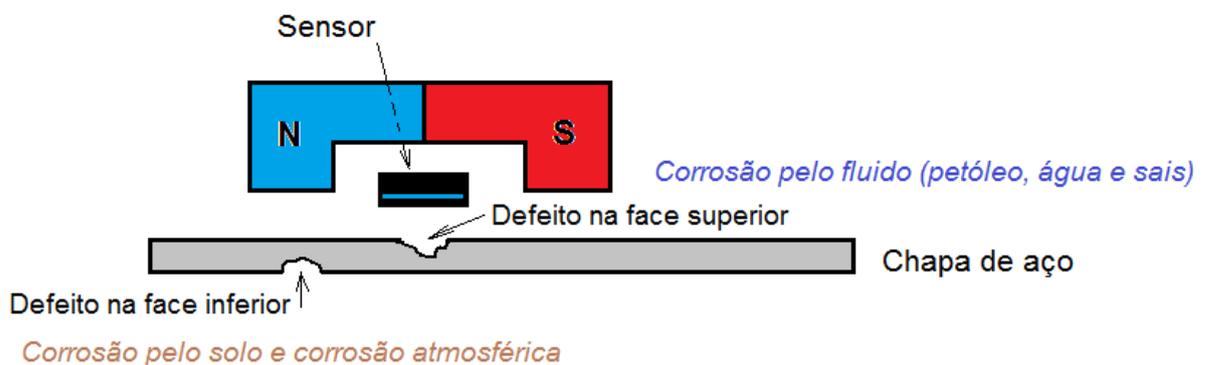


Figura 1 – Representação esquemática do funcionamento do aparelho de MFL.
 Fonte: Adaptado de RAMÍREZ [3].

Metodologia

A técnica MFL foi utilizada em um tanque de armazenamento de petróleo com capacidade de 150.000 bbl (22.841 m³ a 20 °C) e diâmetro aproximado de 45,71m. Este tanque operou por 17 anos e cabe ressaltar que na intervenção anterior foram substituídas todas as chapas de fundo (aproximadamente 1640m²) por chapas novas. As chapas de fundo são de aço carbono na especificação ASTM A 283 gr. C e com espessura nominal de 6,35mm. Internamente o tanque possui obstáculos fixos, como colunas de suportação do teto e serpentinas de vapor para aquecimento do fluido. Para referenciar as indicações optou-se pela numeração de 17 linhas de chapas orientadas de norte a sul e pela numeração sequencial das chapas no sentido leste-oeste. Inicialmente utilizou-se a técnica MFL automatizada (*floor MAP*). Posteriormente foi complementada com a utilização do aparelho MFL com registro manual (*Hand SCAN*) nas regiões de contorno de suportes e em regiões em que a serpentina é muito baixa. Por questões de redução dos serviç os de manutenção, não foi removida a serpentina de vapor de aquecimento do petróleo, o que prejudicou bastante a produtividade do ensaio. Foi estabelecido um critério de aceitação de chapas com indicações inferiores a 40% de redução na espessura da chapa. Para o reparo das condições físicas do equipamento e nos casos de indicações localizadas foi definida uma chapa a sobrepôr. Tendo um vista um horizonte operacional que varia de 10 a 20 anos sem intervenções de manutenção, as indicações dispersas indicam pela substituição integral da chapa.

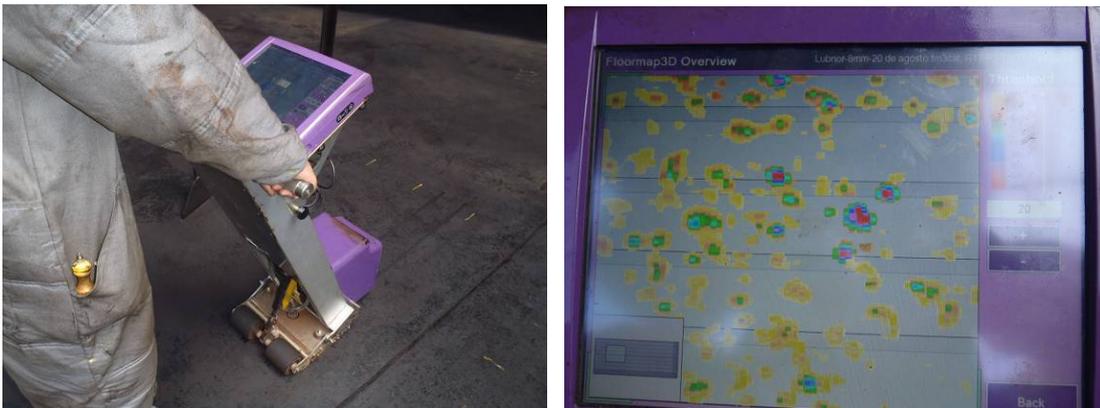


Figura 2 – a) Fotografia do aparelho de MFL automatizado e b) detalhe da tela com indicação dos pontos de corrosão.

Resultados e discussão

Referenciadas as chapas em 17 linhas orientadas de norte a sul e pela numeração sequencial das chapas no sentido leste-oeste, foi feito o MFL automatizado (*floor MAP*) nas chapas 1/1; 1/2; 1/3; 1/8; 1/9; 1/10; 1/11; 2/3; 3/5; 3/6; 4/1; 4/7; 5/1; 5/6; 5/7; 6/1; 7/1; 7/5; 8/4; 8/5; 9/1; 9/6; 9/7; 9/8; 9/9; 10/1; 10/2; 10/3; 10/7; 10/8; 11/1; 11/2; 11/3; 11/4; 11/8; 12/1; 12/2; 12/3; 12/5; 13/1; 13/2; 14/1; 15/1; 16/1; 17/1; 17/2; 17/10; 17/11; 17/12 complementando as demais chapas com o MFL com registro manual (*Hand SCAN*) e feita uma compilação dos resultados obtendo o gráfico do fundo do tanque com as respectivas indicações chapa a chapa, conforme Figura 3, a seguir.

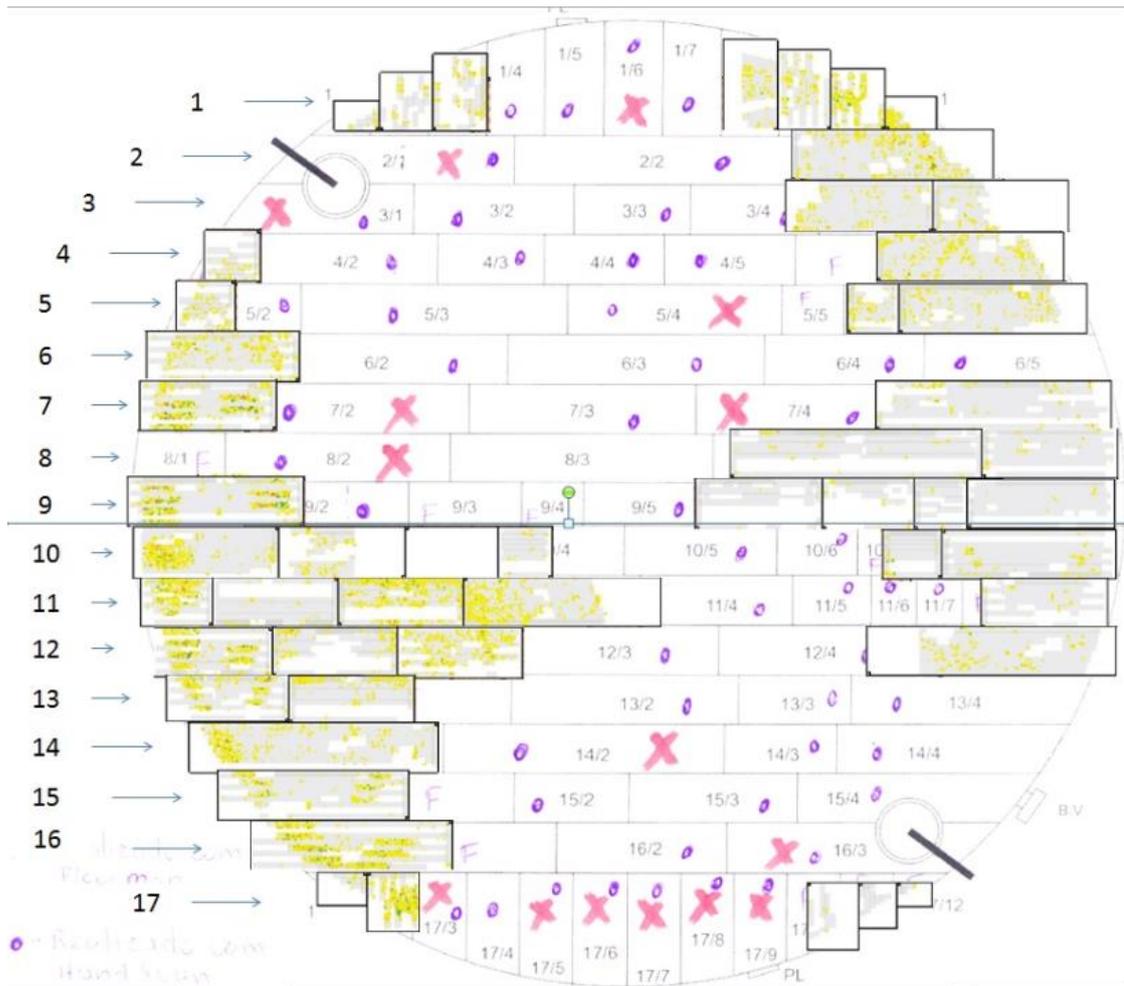


Figura 3 – Ilustração esquemática do fundo do tanque com as chapas avaliadas pelo MFL.

A grande área em branco na ilustração esquemática da Figura 3 foi inspecionada com o MFL com registro manual (Hand SCAN) e onde apresenta um “X” na cor vermelha este representa que naquela chapa existe perda de espessura maior que 40%, definido como critério de aceitação. A análise dos resultados evidenciou um comportamento mais acentuado de corrosão pelo lado externo e principalmente na periferia em relação ao centro do equipamento.

Foi recomendado substituir as chapas conforme o indicado na Figura 4, a seguir:

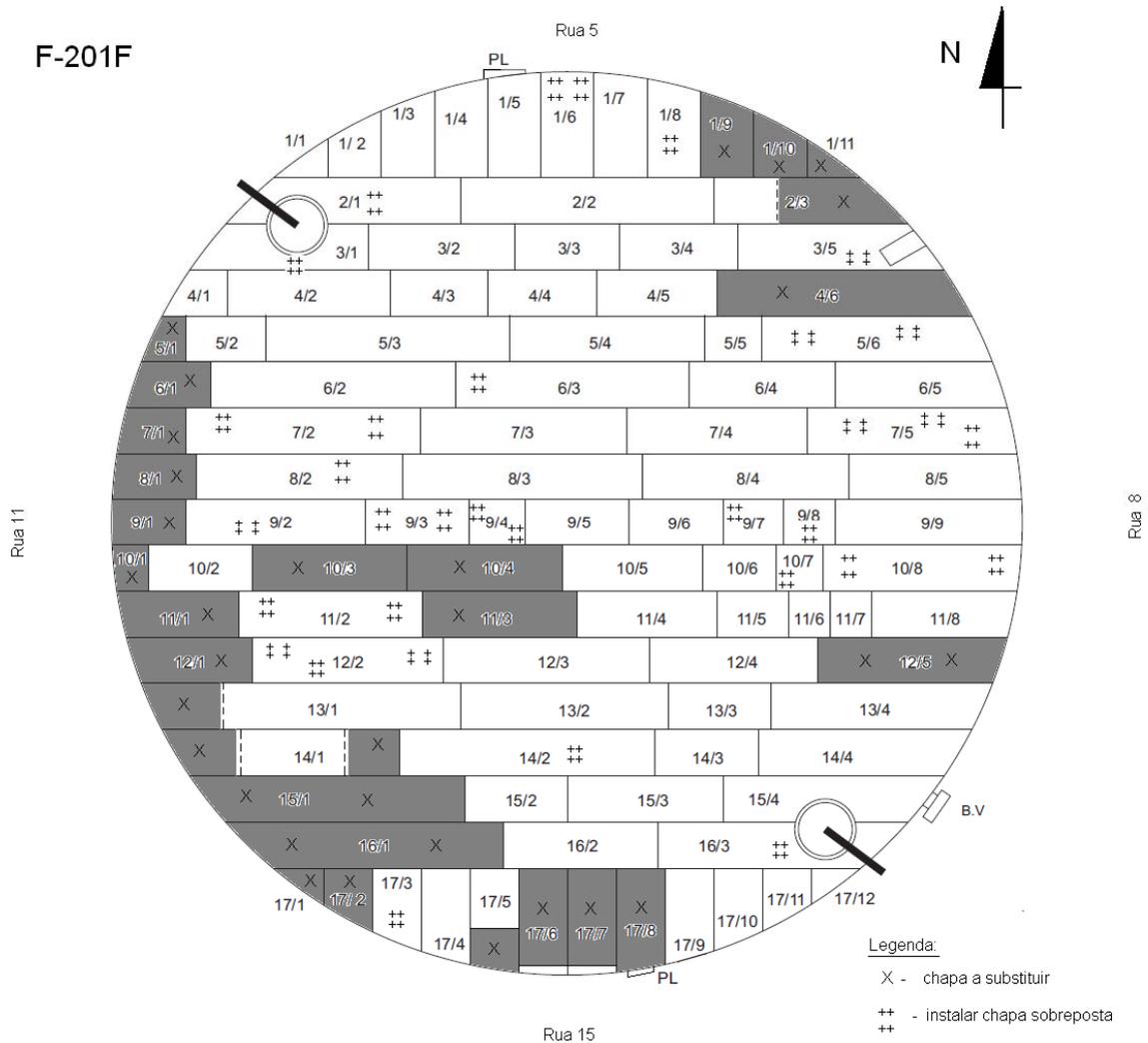


Figura 4 – Ilustração esquemática do fundo do tanque com as chapas a substituir e locais para instalação de chapa sobreposta.

A Figura 5, abaixo, exemplifica através de uma ilustração esquemática uma das chapas de fundo obtida com o MFL automatizado (*floor MAP*) com indicação dos pontos de corrosão. As áreas sombreadas em tom de cinza são as áreas cobertas pela varredura MFL. As indicações coloridas (amarelas, laranja, verde azul, violeta e vermelho) representam a intensidade da redução de espessura (Ver Figura 5). As áreas em branco não foram cobertas pela varredura. Entretanto, primou-se pela segurança recomendando a substituição integral das chapas com indicação de perda de espessura superior a 40%, de modo a garantir uma operação segura. Com a adoção da tática de sobrepor trechos de chapas sobre os pontos de corrosão localizada tivemos surpresas inesperadas durante o tratamento de superfície com jateamento abrasivo.

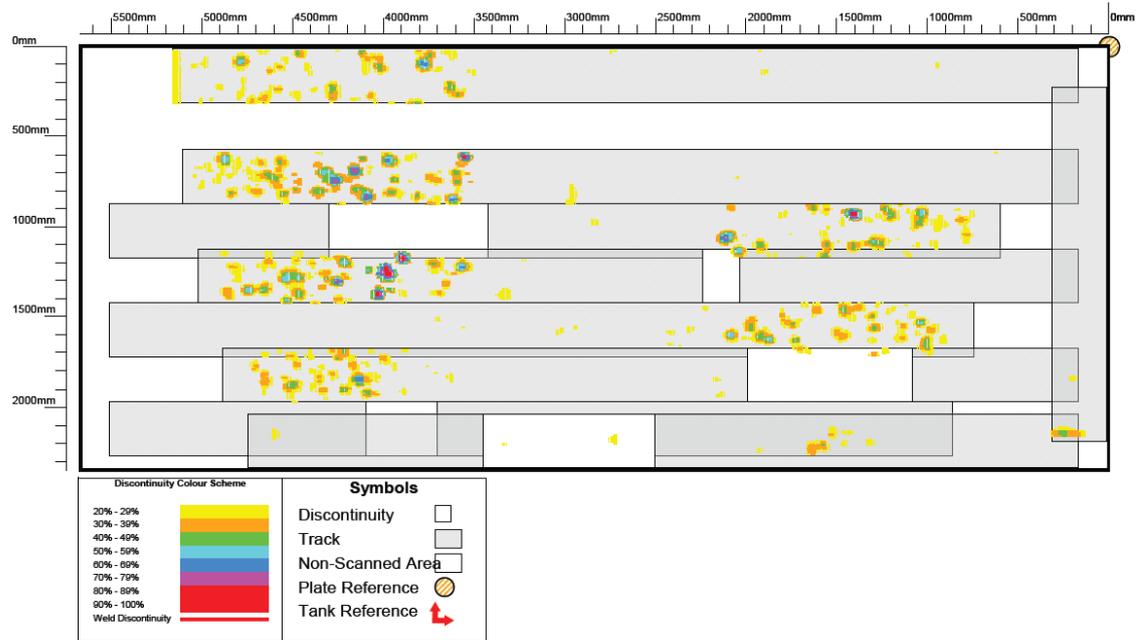


Figura 5 – Ilustração esquemática da chapa com indicação dos pontos de corrosão.

Inspeções complementares foram realizadas através de medição de espessura por ultrassom e da remoção de discos de chapa de fundo utilizadas como contra-prova. Foram realizadas medições de espessura em no mínimo 5 pontos por chapa, sendo 4 nos cantos e um no centro de cada chapa. As espessuras encontradas pelo ultrassom se concentraram em torno da espessura nominal da chapa (6,3mm). Cabe ressaltar que a medição de espessura por ultrassom apesar de ser realizada em todas as chapas, se dá apenas de forma pontual, o que é o bastante para detectar corrosão uniforme. A grande dificuldade da inspeção das chapas de fundo de tanques é pela ocorrência de corrosão alveolar e em pites, o que resulta em baixa detectabilidade pela medição de espessura por ultrassom. Adicionalmente foram removidos através de oxi-corte 7 (sete) discos com diâmetro de 500mm da chapa de fundo do tanque removidos em diferentes regiões na periferia e no centro do tanque. Foi feito o registro fotográfico imediatamente após a remoção e posteriormente após jateamento abrasivo para limpeza da superfície. A análise destes discos mostrou correlação dos pontos de corrosão com as indicações do MFL. A seguir se apresentam fotografias de discos da chapa de fundo do tanque removidas e que comprovam a exatidão da técnica.

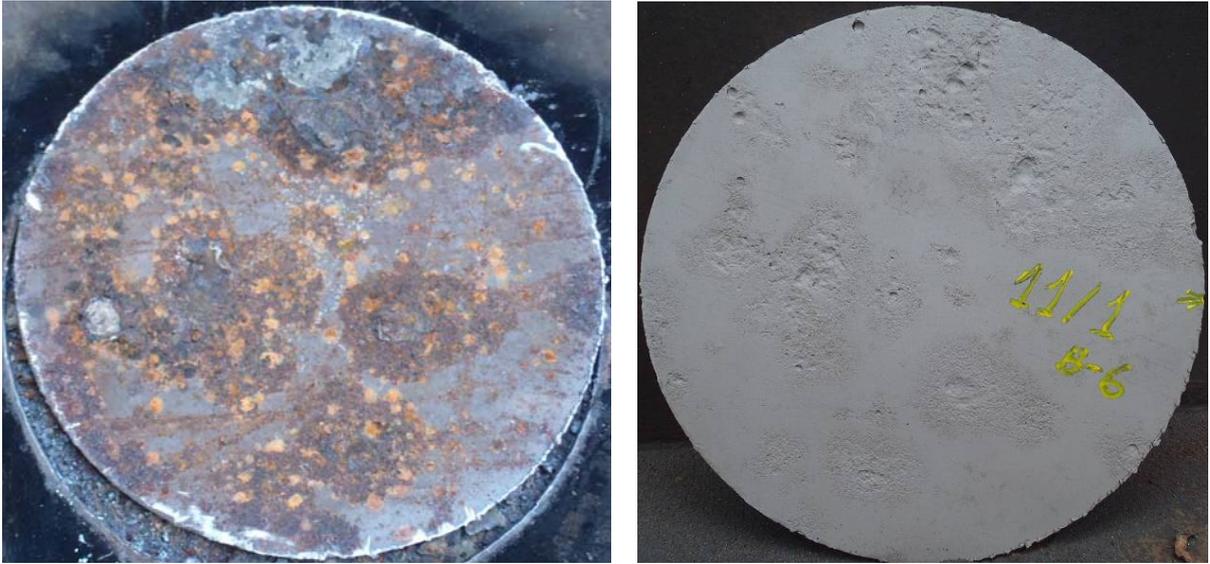


Figura 5 – Fotografia da parte posterior de disco de 500mm removido da chapa de fundo a) após o corte b) após jateamento.



Figura 6 – Fotografia de detalhe da parte posterior da chapa de fundo a) região corroída e b) alvéolo localizado.

Conclusões

O processo de inspeção das chapas de fundo de tanques de armazenamento de petróleo com o apoio da técnica de inspeção não destrutiva MFL mostrou-se bastante eficaz, demonstrado pela assertividade da técnica e pela economia de recursos. A técnica MFL evidenciou um comportamento mais acentuado de corrosão pelo lado externo e principalmente na periferia em relação ao centro do equipamento. Como aprendizagem percebemos que poderíamos ter utilizado em uma área maior do equipamento e assim ter um registro mais detalhado da inspeção através da técnica de MFL automatizada (*floor MAP*) que por questões de redução dos serviços de manutenção, não foi removida a serpentina de vapor de aquecimento do petróleo, o que prejudicou a produtividade do ensaio. Também é importante o acompanhamento e análise preliminar dos resultados antes do término do serviço, de modo a ter a garantia de cobertura de todas as chapas de fundo do equipamento.

Conclui-se que a utilização de técnicas modernas de inspeção proporcionam otimizar os recursos reduzindo o tempo de manutenção e os investimentos em materiais necessários aos reparos, sem incorrer em riscos à segurança e como forma de garantir a confiabilidade.

Referências bibliográficas

- (1) BARROS, Stênio Monteiro de. **Tanques de Armazenamento**, PETROBRAS, Universidade Corporativa, Rio de Janeiro, 2003. 480p.
- (2) OLIVEIRA, C. H. F., NAPOLIAO, M.E., CARNEVAL, R. O., MEDOLA, R., SANTOS, U. F. **Guia de boas práticas para execução da inspeção eletromagnética de chapas de fundo de tanque**. 24/03/2008. 9 p. Rio de Janeiro, RJ, 2008. Disponível em <http://cv.universidade.petrobras.com.br/_arquivos/4829.pdf> acesso em 14/10/2013.
- (3) RAMÍREZ, Alicia Romero, MASON, John S.D., PEARSON, Neil. **Experimental study to differentiate between top and bottom defects for MFL tank floor inspections**, NDT & E International, Volume 42, Issue 1, January 2009, Pages 16-21, ISSN 0963-8695, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2008.08.005>. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963869508000947>> acesso em 21/02/2014.
- (4) Folder IB-NDT Inspeções e Tecnologias, **MFL de alta resolução para chapas de fundo e teto de tanques de armazenamento**. Disponível em: <<http://www.ibndt.com/upload/MFL%20para%20chapa%20de%20fundo%20e%20teto%20-%20IB%20NDT.pdf>> acesso em 26/12/2013.

* * *