

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

PROTEÇÃO CATÓDICA EM FUNDO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO COM MANTA DE POLIETILENO COMO CONTENÇÃO DE VAZAMENTOS.

Eduardo Chaves Barreto^a, Laerce de Paula Nunes^b, Anderson Teixeira Kreischer^c

Abstract

Storage tanks are very important structures in the industries, thereby, like any metallic structure it can have problems with corrosion process. The corrosion on the aerial part of the tanks is easily neutralized by painting, however in its interior, when these tanks store corrosive products, and in the bottom of the tank, corrosion process control is done by association of painting and the installation of a cathodic protection system. In this paper it will be presented some types of cathodic protection systems against corrosion on the bottom of storage tanks. These storage tanks can be new, in use or under recuperation process. Different types of installations, its advantages and limitations also will be presented. The emphasis will be the new trend of installation of anode concentric rings near to the bottom of the tank that has been proving to be very effective and with less time and costs for installation.

Keywords: cathodic protection; storage tank; soil corrosion

Resumo

Os tanques de armazenamento são estruturas de extrema importância em unidades industriais e, como qualquer estrutura metálica, estão sujeitos a processos corrosivos. A corrosão na parte aérea dos tanques é facilmente controlada por meio de pintura, porém em sua parte interna, quando estes armazenam produtos corrosivos, e em seu fundo, interno e externo, o controle dos processos corrosivos normalmente é feito pela associação de pintura com a instalação de um sistema de proteção catódica. Neste trabalho, serão apresentados os principais tipos de instalação de sistemas de proteção catódica para o controle da corrosão externa em fundo de tanques de armazenamento, sejam estes novos, em utilização ou em processo de recuperação. Os diferentes tipos de instalação bem como suas vantagens e limitações também serão apresentados e será dado destaque a nova tendência de instalação de anodos concêntricos instalados bem próximos ao fundo do tanque que vem se mostrando bastante eficiente e de menor custo e tempo de instalação.

Palavras-chave: proteção catódica; tanque de armazenamento; corrosão pelo solo.

Introdução

Os tanques de armazenamento de produtos são equipamentos de suma importância na indústria química e petroquímica. Os custos de parada e manutenção destes tanques, devido a falhas por corrosão, costumam ser consideravelmente elevados e devem ser evitados ao máximo com a utilização de técnicas de controle da corrosão.

A parte aérea dos tanques é de fácil inspeção e manutenção e o controle da corrosão é facilmente conseguido com a utilização de pintura industrial. Entretanto, a parte interna e o fundo do tanque em contato com o solo necessitam de maiores cuidados.

Dependendo do fluido contido no tanque, o controle da corrosão na parte interna é facilmente resolvido com a utilização de pintura industrial e/ou proteção catódica, seja esta galvânica ou por corrente impressa.

Igualmente a parte interna, o controle da corrosão no fundo do tanque em contato com o solo pode ser resolvido com a associação de pintura e/ou proteção catódica. Entretanto alguns fatores devem ser considerados, principalmente os fatores construtivos da base do tanque. Além da pintura e proteção catódica, sistemas de drenagens do solo e vedação da interface concreto/tanque, são muito importantes no auxílio do controle da corrosão do fundo de tanques.

Neste trabalho, serão apresentados os principais tipos de instalação de sistemas de proteção catódica para o controle da corrosão externa em fundo de tanques de armazenamento, sejam estes novos, em utilização ou em processo de recuperação. Os diferentes tipos de instalação bem como suas vantagens e limitações também serão apresentados e será dado destaque a nova tendência de instalação de anodos concêntricos bem próximos ao fundo do tanque que vem se mostrando bastante eficiente e de menor custo e tempo de instalação

Corrosão externa no fundo do tanque

O processo corrosivo que atua na parte externa do fundo de tanques é de origem eletroquímica, e a condição fundamental para este processo corrosivo é a presença de um eletrólito, que neste caso é o solo que está em contato com o fundo do tanque.

Na corrosão eletroquímica observam-se duas reações parciais: reações anódicas e reações catódicas, que podem ser observadas em pontos distintos do fundo do tanque. O mecanismo se traduz no funcionamento básico de uma pilha de corrosão.

Quanto à morfologia, várias formas de corrosão podem ser observadas, porém as mais comuns são a corrosão generalizada e corrosão localizada (puntiforme ou alveolar).

A corrosão generalizada ocorre quando o desgaste observado no fundo do tanque é uniforme, isto é, a perda de espessura é praticamente a mesma em toda a região do fundo em contato com o eletrólito.

A corrosão localizada ocorre em uma ou mais regiões do fundo do tanque de maneira isolada, e estas áreas são menores do que a região total do fundo do tanque em contato com o

eletrólito. Esta forma de corrosão pode ser alveolar, quando o diâmetro médio da região corroída é maior do que a profundidade, ou puntiforme, quando a profundidade é maior do que o diâmetro médio da região corroída.

Quanto à fenomenologia, dois tipos de corrosão merecem destaque: corrosão galvânica e corrosão por corrente de interferência.

A corrosão galvânica ocorre quando dois ou mais metais dissimilares, em um mesmo eletrólito, possuem contato elétrico entre si. Como exemplo deste tipo de corrosão, têm-se os aterramentos elétricos dos tanques que normalmente são em cobre e linhas de dutos sem isolamento elétrico interligadas ao tanque que em alguns casos podem até ser de aço inoxidável.

A corrosão por corrente de interferência ocorre quando existe um fluxo de corrente indesejada dispersa no eletrólito. Sua origem pode ser de sistemas de proteção catódica que não está interligado ao tanque, máquinas de solda ou outros equipamentos inadequadamente aterrados ou até mesmo por ferrovias eletrificadas próximas à região.

Para todos os problemas de corrosão mencionados, a proteção catódica surge como uma alternativa eficaz no controle da corrosão do fundo de tanques, porém é necessário que o eletrólito permita a passagem de corrente do anodo para o fundo do tanque.

Proteção catódica – galvânica x corrente impressa

Para a proteção catódica, pode-se adotar a proteção galvânica com anodos de sacrifício normalmente de zinco ou magnésio ou proteção por corrente impressa com anodos inertes e uma fonte de corrente contínua.

Historicamente diversas configurações de anodos galvânicos tem sido utilizados para proteção catódica de fundo de tanques, porém nem sempre são eficientes e não serão discutidas neste trabalho. Sua principal limitação está no fato de que a corrente gerada é limitada pela natureza eletroquímica do anodo. Em alguns casos a corrente gerada pode não ser suficiente para a proteção integral do fundo do tanque. Usualmente não é utilizada em tanques de grande diâmetro ou em solos de alta resistividade elétrica. Além disso, os anodos tem que ficar próximos ao fundo do tanque, portanto, após término de sua vida útil, a reposição nos pontos originais pode se tornar inviável.

O sistema de proteção catódica por corrente impressa é mais versátil, podendo ser utilizado em tanques de pequenos a grandes diâmetros. Teoricamente não existe limitação na corrente a ser injetada pelos anodos, ficando esta limitada a potência do retificador de corrente a ser utilizado.

Diversas formas de distribuição dos anodos podem ser utilizadas e serão apresentadas no decorrer deste trabalho.

Considerações sobre as bases de tanques

Como o foco principal deste trabalho é a proteção catódica externa de fundo de tanques de armazenamento, um dos fatores determinantes para a utilização de proteção catódica é o tipo de base do tanque, que pode ser:

- Base com anel de concreto
- Laje de concreto ou asfalto
- Solo compactado

Normalmente quando a base do tanque é construída sobre uma laje de concreto ou asfalto, alguns fatores podem tornar difícil a eficácia da utilização de proteção catódica como forma de controle da corrosão do fundo do tanque, pois esta laje poderia impedir que a corrente oriunda dos anodos chegasse ao fundo do tanque e o protegesse catódicamente. Porém, caso haja penetração de umidade entre a laje e o fundo do tanque, ocorrerá o processo corrosivo e a presença da proteção catódica pode impedir ou minimizar este processo.

Para os outros dois tipos de base, anel de concreto e solo compactado, é fundamental a utilização proteção catódica.

Durante o projeto deve-se analisar a existência de barreiras secundárias de contenção (argila impermeável, membrana polimérica ou tanque de fundo duplo) para que se possa definir a melhor distribuição dos anodos. Nestes casos os anodos devem ser distribuídos entre a contenção secundária e o fundo do tanque.

Configurações dos sistemas de proteção catódica por corrente impressa

Em função das bases dos tanques, da existência de contenção secundária, se os tanques são novos ou já estão em uso, pode-se utilizar diversas configurações dos leitos de anodos.

Algumas formas de distribuição de anodos serão apresentadas a seguir.

Leito convencional distribuído ao redor do tanque

Esta é uma das formas mais comuns de instalação de anodos de sistemas de proteção catódica em tanques de armazenamento e normalmente os anodos são instalados a uma profundidade que pode variar de 1 m a 5 m. A figura 1 mostra um desenho esquemático de instalação deste tipo de sistema.

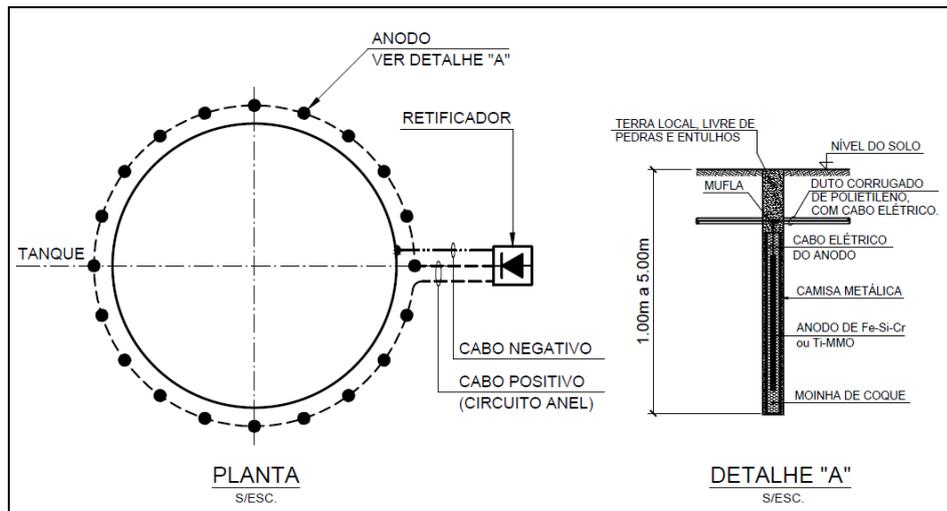


Figura 1 – Desenho esquemático de instalação de anodos ao redor do tanque

Atualmente, os anodos mais utilizados são os de ferro-silício-cromo (Fe-Si-Cr) ou titânio revestidos óxidos mistos de metais nobres (Ti-MMO) e são lançados no solo envoltos em moinha de coque calcinada de petróleo ou coque metalúrgico, visando uma melhor distribuição de corrente. A figura 2 ilustra este tipo de instalação.

Este tipo de distribuição de anodos pode ser utilizado em tanques em uso ou a serem instalados, porém um ponto crítico é se este tipo de distribuição de anodos garantirá a chegada de corrente suficiente para proteger o centro do tanque, neste caso, não se recomenda a utilização deste tipo de distribuição em tanques de grande diâmetro e/ou que não possuam revestimento em seu fundo.

Outra limitação para a utilização deste tipo de instalação é a existência de membrana ou outro material isolante próximo ao fundo do tanque, normalmente utilizados para contensão de vazamentos, que impedirão a distribuição da corrente ao longo de todo o fundo.

Leito de anodos profundo

Este tipo de sistema consiste na instalação de um ou mais poços profundos perto do tanque, onde normalmente há limitações de espaços para trabalhar. A figura 2 ilustra este tipo de instalação.

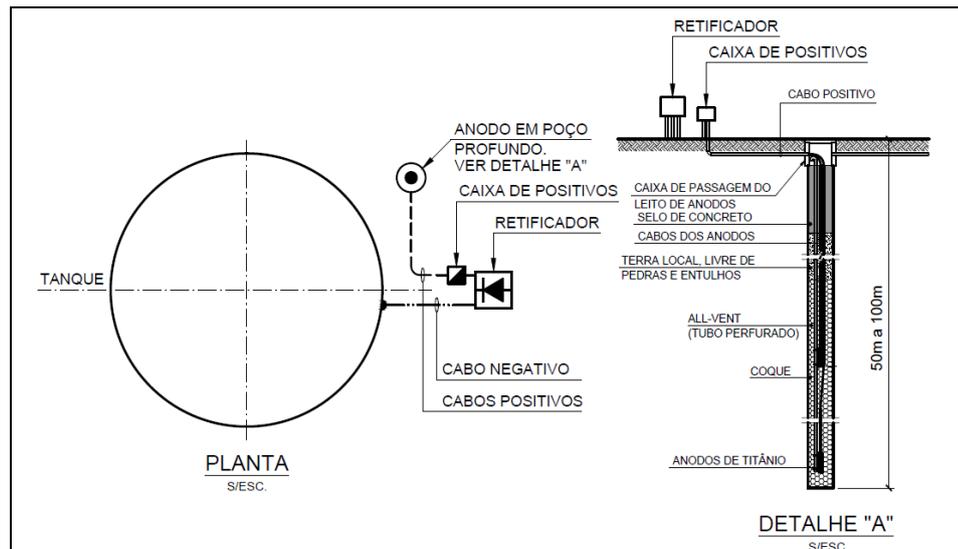


Figura 2 – Instalação de leito de anodos profundos para a proteção do fundo do tanque

Os poços profundos normalmente possuem uma profundidade superior a 50 m e os anodos utilizados são de titânio revestidos com óxidos mistos de metais nobres. O diâmetro do furo pode variar de 20 cm a 30 cm.

Este tipo de distribuição possui algumas limitações, principalmente em plantas industriais congestionadas onde o fluxo de corrente pode facilmente se dispersar para outras estruturas enterradas, como os aterramentos por exemplo. Entretanto pode-se utilizar desacopladores de corrente contínua. Estes tipos de dispositivos permitem que o tanque seja aterrado à malha de cobre sem prejudicar a proteção catódica.

Um único poço ou um conjunto de poços pode ser utilizado para proteger um ou mais tanques, porém quando existe mais de um tanque deve-se tomar cuidado para que a distribuição de corrente seja adequada para cada tanque. No geral, deve-se optar para sistemas independentes para cada tanque, de forma a ter-se um controle melhor da corrente de proteção.

Igualmente ao sistema convencional distribuído ao redor do tanque, os poços profundos não podem ser utilizados quando existe uma membrana isolante de contenção no fundo do tanque.

Anodos individuais distribuídos embaixo do tanque

Neste tipo de distribuição, são lançados anodos individuais de Fe-Si-Cr ou titânio sobre o terreno onde o tanque será construído e ao final os anodos ficarão embaixo do tanque, conforme figura 3.

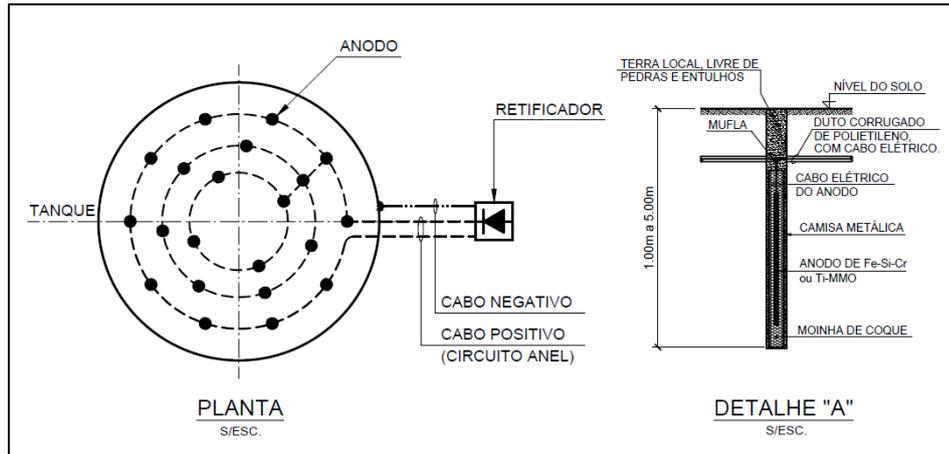


Figura 3 – Anodos individuais instalados no fundo do tanque

Esta é uma configuração que é utilizada somente em tanques a serem construídos. Pode ser necessária grande quantidade de anodos e cabos para permitir uma boa distribuição de corrente, o que aumenta o tempo de instalação e custo. Normalmente o montador do tanque precisa que esta etapa seja rápida para liberar a área para sua construção principal.

Este sistema não deve ser utilizado quando existe uma membrana isolante de contenção no fundo do tanque, pois o espaço entre a membrana e o fundo do tanque é curto para as dimensões dos anodos.

Anodos em barras instalados próximos ao fundo do tanque

Este tipo de distribuição consiste na instalação de anodos bem próximos ao fundo do tanque, normalmente com distância do fundo variando de 30 cm a 60 cm. Sua vantagem é que promove uma distribuição de corrente uniforme no fundo do tanque.

Este tipo de sistema é muito utilizado e recomendado quando existe a membrana de contenção secundária no tanque.

Os anodos utilizados são de titânio revestido com óxidos mistos de metais nobres e podem ser em fita, fio ou varetas.

A distribuição dos anodos no fundo varia com a forma e distância entre os anodos, e as mais usuais são Anodos paralelos distantes de aproximadamente 1 m entre si (figura 4) (considerando o afastamento dos anodos ao fundo do tanque de 30 cm):

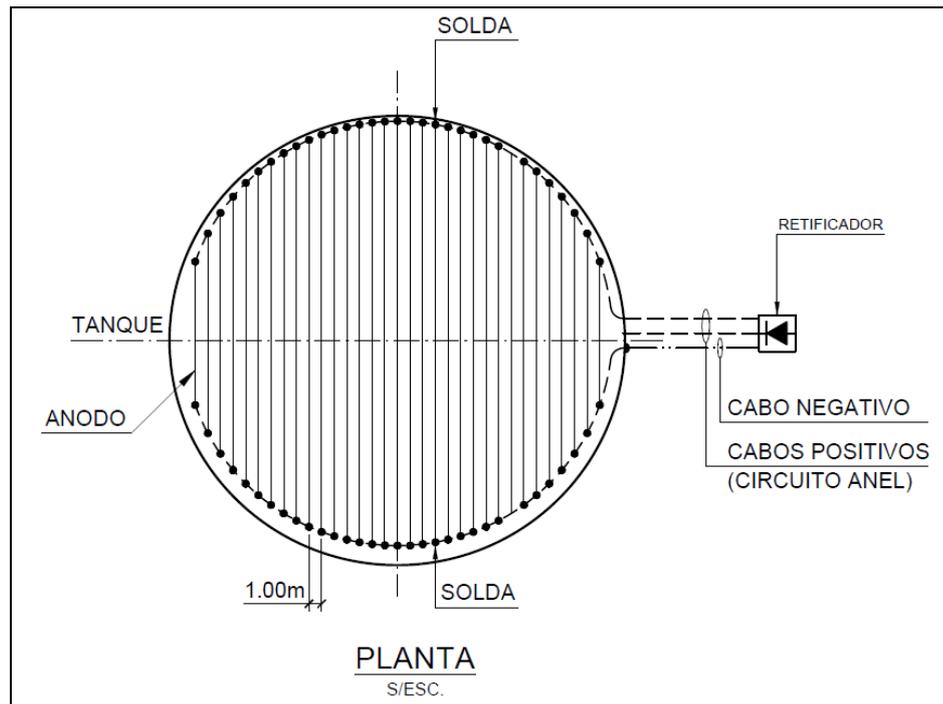


Figura 4 – Anodos paralelos

A desvantagem deste sistema é a necessidade de uma máquina de solda apropriada específica para esta instalação, e o tempo de instalação em função disso, pois toda a preparação e conexão tem que ser feita no local. Falhas na solda podem causar pontos cegos e os anodos não podem ser instalados diretamente sobre a manta, necessitando que a camada seja instalada antes. Além disso, este tipo de anodo não pode ser instalado em tanques existentes pois não há como trabalhar embaixo do tanque e sua proximidade é fundamental para distribuição da corrente.

Anodos contínuos instalados concêntricamente sobre o tanque – exemplo prático

Os anodos distribuídos em círculos concêntricos tem se mostrado bastante eficientes e possuem a vantagem de utilizar menos anodos do que os distribuídos paralelamente entre si. Além disso, os anodos paralelos necessitam de um grande número de soldas a serem executadas no campo enquanto que os anodos concêntricos já são fornecidos nos tamanhos exatos para cada tanque, sendo necessário somente sua instalação e interligação ao retificador.

Os anodos são fabricados com enchimento condutor evitando assim que a heterogeneidade do eletrólito ou aeração diferencial possam ocasionar uma saída preferencial de corrente em parte do anodo, resultando em distribuição uniforme.

Este tipo de anodo pode ser instalado quando há membrana de contenção e uma instalação típica é mostrada na Fig.5.

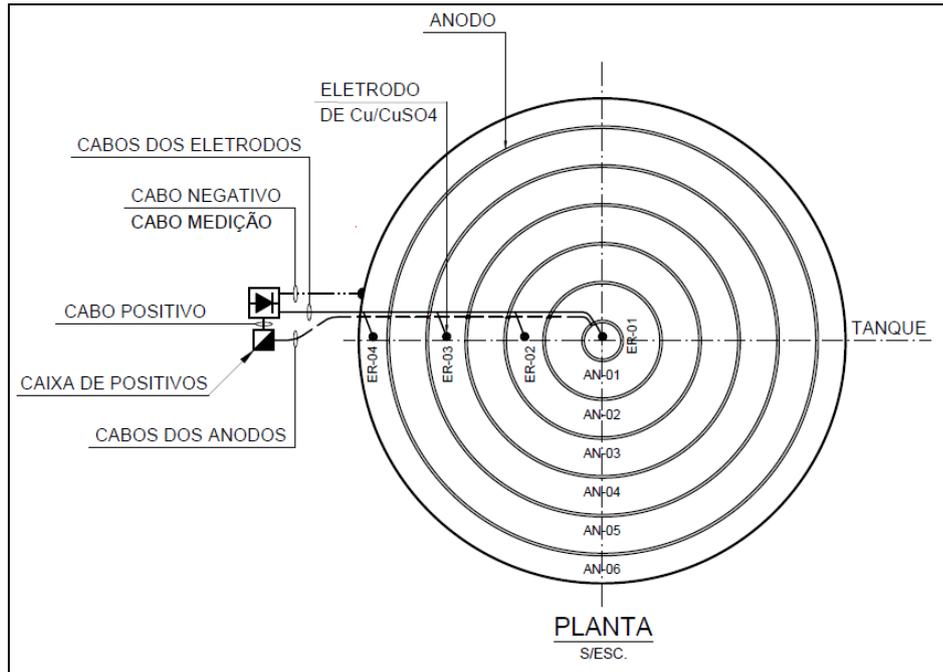


Figura 5 – Anodos concêntricos

É possível também a instalação em tanques existentes por furo direcional, porém neste caso, seriam instalados um paralelo ao outro.

A seguir serão apresentados resultados de um caso prático onde foram instalados anodos concêntricos para a proteção catódica do fundo de um tanque instalado sobre anel de concreto e com uma membrana para contenção secundária.

Exemplo prático de anodos contínuos concêntricos

Descrição básica do tanque

A seguir são apresentados os dados básicos sobre o tanque:

- Diâmetro: 36,58 m (120 ft);
- Material do fundo: aço carbono sem revestimento
- Temperatura de operação: 25 °C

Premissas adotadas no projeto

As seguintes premissas foram adotadas para o cálculo da corrente de proteção catódica para o fundo do tanque:

- Densidade de Corrente: 10,86 mA/m² (1 mA/ft²);
- Profundidade de instalação dos anodos: 0,30 m (1 ft);
- Resistividade estimada para projeto: 50.000 ohm.cm;
- Folga do Retificador: 20 %;
- Revestimento do fundo do tanque: sem revestimento;

- Vida útil do sistema: 50 anos (vida útil dos anodos);
- Anodos a serem instalados: Anodos de titânio revestidos com óxidos mistos de metais nobres e envoltos em enchimento condutores (modelo MATCOR SPL™-FBR-25 mA/ft);
- Capacidade de corrente do anodo: 81,76 mA/m (25 mA/ft);
- Critério de proteção catódica: potenciais estrutura/solo mais negativos do que -0,85 V e limitados a 1,20 V em relação ao eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre.

O valor da densidade de corrente adotado foi retirado da NACE RP 0193-2001 seção 5.

O valor da resistividade elétrica do solo foi estimado, pois não foram fornecidos os dados dos materiais que seriam utilizados para fazer a base do tanque.

Resultado do dimensionamento do sistema de proteção catódica

Os seguintes valores e materiais foram calculados:

- Área do fundo do tanque: 1.050 m²;
- Corrente teórica de proteção: 11,3 A;
- Espaçamento entre anéis de anodos: 3,0 m;
- Número de anéis de anodos: 6
- Diâmetro dos anéis:
 - 1º anel: 3 m
 - 2º anel: 9 m
 - 3º anel: 15 m
 - 4º anel: 21 m
 - 5º anel: 27 m
 - 6º anel: 34 m
- Resistência do circuito: 0,8 ohm;
- Retificador de corrente:
 - Tensão de saída nominal: 70 V
 - Corrente de saída nominal: 20 A
- Eletrodos de referência: 4 unidades de cobre/sulfato de cobre

Instalação do sistema proposto

Após a aprovação do projeto os materiais foram adquiridos e partiu-se para a montagem do sistema proposto.

As seguintes etapas foram seguidas para a instalação e montagem do sistema completo:

- Instalação e montagem do retificador de corrente – 2 dias;
- Instalação da caixa de interligação dos anodos – 1 dia;
- Instalação dos anodos, instalação dos eletrodos de referência, interligação e conexão ao retificador – 1 dia.

Observa-se que o sistema com anodos concêntricos é de fácil instalação e reduz drasticamente os serviços de montagem de campo.

A principal facilidade deste sistema é que os anodos são fabricados especificamente para o tanque e uma vez na obra, basta distribuí-los conforme o projeto.

As figuras 6, 7 e 8 mostram detalhes da montagem do sistema.



Figura 6 – Vista aérea dos anodos concêntricos sendo instalados na base do tanque



Figura 7 – Detalhe dos eletrodos de referência instalados entre os anéis de anodos concêntricos



Figura 8 – Detalhe da passagens de cabos dos anodos e dos eletrodos de referência pelo anel de concreto da base do tanque

Resultados e discussões – Pré-operação do sistema proposto

Após a instalação dos anodos e do retificador, esperou-se a colusão da obra do tanque para que a pré-operação do sistema instalado fosse executada.

A primeira atividade da pré-operação foi a medição dos potenciais naturais da estrutura/solo nos eletrodos de referência, e os valores medidos foram (tabela 1):

Tabela 1 – Medição dos potenciais naturais

Ponto de Medição	Potencial natural [V] (Cu/CuSO ₄)
Eletrodo 1	-0,512
Eletrodo 2	-0,537
Eletrodo 3	-0,509
Eletrodo 4	-0,499

Após as medições dos potenciais naturais, o retificador foi testado realizando-se a varredura de TAP's para verificar qual a corrente máxima possível de ser injetada pelo sistema. Os valores são apresentados na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Teste do retificador – Varredura de TAP's

Ajustes		Tensão de Entrada	Tensão de saída	Corrente de saída [A]
Grosso	Fino	[V] (Cu/CuSO ₄)	[V] (Cu/CuSO ₄)	
1	1	457,6	3,8	2,5
	2	457,6	6,4	4,0
	3	457,6	9,1	5,9

Ajustes		Tensão de Entrada [V] (Cu/CuSO ₄)	Tensão de saída [V] (Cu/CuSO ₄)	Corrente de saída [A]
Grosso	Fino			
	4	457,6	11,5	7,5
	5	457,6	14,0	9,4
2	1	457,6	16,5	11,1
	2	457,6	18,9	12,7
	3	457,6	21,2	14,4
	4	457,6	23,7	16,1
	5	457,6	26,2	17,8
3	1	457,6	29,1	19,8

Pelo teste de varredura de TAP's observou-se que o retificador tem capacidade de injetar sua corrente nominal de 20 A.

O sistema foi mantido ligado de forma que injetasse sua corrente mínima, isto é, 2,5 A no ajuste de TAP's grosso1/fino 1.

Decidiu-se deixar o retificador nesse ajuste, pois os potenciais instantâneos medidos durante a varredura dos TAP's foram muito negativos (tabela 3).

Após oito dias do sistema ligado e polarizando, realizou-se outra inspeção e os valores medidos foram (tabela 3):

Tabela 3 – Medição de potencial

Ponto de Medição	Potencial [V] (Cu/CuSO ₄)			
	ON	OFF	ON	OFF
DATA	Dia 1 da pré-operação		Dia 8 da pré-operação	
Eletrodo 1	-4,441	-0,939	-4,43	-1,65
Eletrodo 2	-4,392	-0,936	-4,36	-1,58
Eletrodo 3	-4,350	-0,931	-4,30	-1,50
Eletrodo 4	-4,197	-0,921	-4,64	-0,96

Em função da nova medição de potencial, observou-se que seria necessário diminuir a corrente injetada pelo sistema. Como o retificador já estava no ajuste mínimo, a solução foi adicionar resistências em série com os anodos de forma limitar essa injeção de corrente.

Esta adição de resistências é feita aos poucos e a cada adição de uma nova resistência é necessário esperar o sistema polarizar.

Até o ajuste final do sistema foram necessárias 3 adições de resistências, sendo:

- Dia 19 da pré-operação: foi inserida uma resistência de 5,6 ohm em série com o cabo positivo, na da caixa de interconexão de positivos;
- Dia 47 da pré-operação: foi inserida uma resistência de 5,6 ohm em série com o cabo positivo e uma resistência de 3,0 ohm em série com os anodos A-01 e A-02 na da caixa de interconexão de positivos;
- Dia 60 da pré-operação: Foi inserida uma resistência de 5,6 Ω em série com o cabo positivo e uma resistência de 3,0 ohm em série com os anodos A-01, A-02, A-03, A-04 e A-05 na da caixa de interconexão de positivos

Os testes adicionando-se resistências aos anodos e os valores medidos em cada etapa estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Medição de potencial após a adição das resistências

Ponto de Medição	Potencial [V] (Cu/CuSO ₄)					
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
DATA	Dia 19 da pré-operação		Dia 47 da pré-operação		Dia 60 da pré-operação	
Eletrodo 1	-2,171	-1,534	-1,801	-1,230	-1,878	-1,241
Eletrodo 2	-2,133	-1,490	-1,830	-1,252	-1,866	-1,212
Eletrodo 3	-1,986	-1,347	-1,782	-1,187	-1,710	-1,121
Eletrodo 4	-1,545	-0,912	-1,444	-0,881	-1,408	-0,875

Após o ajuste final mediu-se a corrente injetada por anel de anodo e os valores estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Medição da corrente drenada por anodo

Anel de anodos	Corrente drenada [A]
Anel 1	0,010
Anel 2	0,016
Anel 3	0,044
Anel 4	0,244
Anel 5	0,144

Anel de anodos	Corrente drenada [A]
Anel 6	0,018

Observa-se que a corrente total necessária para a proteção do fundo do tanque ficou muito abaixo da projetada. Nesse tocante, dois pontos foram cruciais para essa diminuição da corrente de proteção, sendo: revestimento no fundo do tanque e o solo entre a membrana e o fundo do tanque.

Inicialmente, na fase do projeto, não estava previsto revestimento externo no fundo do tanque, porém as chapas do fundo do tanque foram pintadas e o projeto não foi revisado. Isto porque somente após a montagem dos anodos que informaram que a chapa do fundo seria pintada.

Como é sabido, a corrente necessária a proteção catódica cai drasticamente quando as superfícies a serem protegidas são revestidas. Com o tempo esta eficiência cai e o sistema deverá ser reajustado.

Quanto ao solo entre a membrana e o tanque, este foi composto por duas camadas distintas sendo uma de areia e outra, junto ao tanque, de areias mais betume. A adição de betume elevou muito a resistividade do solo o que fez com que a demanda de corrente fosse ainda menor.

Apesar disso, o resultado final foi satisfatório, pois os potenciais medidos em todos os quatro eletrodos de referência indicam proteção.

Conclusões

Diante do exposto fica evidente a necessidade de aplicação de proteção catódica em fundos de tanques sempre que possível sua aplicação.

A definição da técnica a ser utilizada na proteção do fundo de tanques vai depender das condições em que o tanque será ou se já está instalado.

A técnica utilizando anodos concêntricos se mostrou muito eficiente na proteção catódica e merece destaque principalmente pela facilidade de instalação. Os custos com mão de obra são drasticamente reduzidos uma vez que não é necessário escavar ou realizar furos profundos para instalação de anodos.

Outra grande vantagem dos anodos concêntricos em anéis, como demonstrado, é que pode-se ajustar a corrente injetada por setor do tanque, melhorando assim a distribuição de corrente e evitando que regiões fiquem superprotegidas.

Referências bibliográficas

Baeckmann, W. V.; Schwenk, W.; Prinz, W. – Handbook of Cathodic Corrosion Protection – Gulf Publishing Company – Houston, Texas.

Nunes, Laerce P. – Fundamentos de Resistência à Corrosão – Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2007.

Dutra, Aldo C.; Nunes, Laerce, P. – Proteção Catódica- Técnica de Combate à Corrosão Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2006.

American Petroleum Institute – API Recommended Practice 651 Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks, 4th Edition, September 2014.

NACE Recommended practice RP 0193-2001, "External Cathodic Protection of On-Grade Carbon steel Storage Tank Bottoms," NACE International, Houston, 2001.

Morgan, J., "Cathodic protection," 2nd edition, NACE, Houston, 1993.

Gummow, R.A., "Cathodic Protection—Technological Changes and Application Challenges, 11th Middle East corrosion conference, Manama, Bahrain, Feb. 26-Mar. 1, 2006.