

# PROJETO PARA UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA: AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS

## DESIGN FOR A CATHODIC PROTECTION SYSTEM: ENDPOINTS

### **ALMIR MARIANO DE SOUSA JUNIOR**

Engenheiro de Produção, Engenheiro de Segurança do Trabalho, Mestre em Engenharia de Petróleo e Gás Natural, Doutorando em Ciência e Engenharia de Petróleo e Professor da Universidade Federal Rural do Semiárido. E-mail: almir.mariano@ufersa.edu.br

### **NAYARA DE FREITAS PAIVA**

Engenheira Mecânica - Universidade Federal Rural do Semiárido/UFERSA. Especialista em Engenharia de Petróleo e Gás natural – UnP. E-mail: nalapaiva2006@hotmail.com

### **FABRÍCIO JOSÉ NOBREGA CAVALCANTE**

Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. E-mail: fabriciocavalcante@ufersa.edu.br

### **MANOEL MARIANO NETO DA SILVA**

Graduando em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido / Campus Pau dos Ferros. E-mail: marianop.paiva2@gmail.com

**Envio em:** Junho de 2015  
**Aceite em:** Julho de 2015

## RESUMO

Os problemas resultantes da corrosão são frequentes e atingem as mais diversas atividades do setor industrial, caracterizando-se desse modo como um agravante no que se refere aos aspectos econômicos, uma vez que os gastos e a quantidade de insumos necessários para substituir ou repor as instalações industriais e equipamentos atingidos são muito elevados. Nesse contexto, este trabalho tem por finalidade projetar de um sistema de proteção catódica para uma instalação de tubulações, utilizado para o transporte de fluidos de petróleo provenientes de campos submarinos. Para a elaboração do projeto, admitiu-se uma tubulação de aço carbono com diâmetro de 06 polegadas e comprimento de 300 metros revestida por um protetor convencional com eficiência inicial de 95% e final de 90%, enterrada em solo com resistividade média em torno de 1.200 ohm×cm. A partir dos parâmetros e características, foi possível montar o sistema de proteção catódica, no qual foi definido os valores referentes à corrente elétrica a ser empregada, área total a ser revestida, massa de zinco necessária e o número de ânodos. Mediante aos estudos, verificou-se que a proteção catódica é uma técnica eficiente no combate à corrosão em instalações de tubulações de aço carbono enterradas, e apresenta fatores consideráveis para o projeto. Porém não é um método satisfatório para projetos de pequeno porte e baixo custo.

**Palavras-chave:** Corrosão. Sistema de proteção catódica. Aço carbono. Zinco.

## ABSTRACT

*Problems resulting from corrosion are frequent and strike the various activities in the industrial sector, characterized thereby obtaining an aggravating with regard to the economic aspects, since the costs and the amount of inputs necessary to replace or replenish the facilities and attained industrial equipment are very high. In this context, this study aims to design a cathodic protection system for installation of pipes, used to transport petroleum fluids from subsea fields. For the preparation of the project, a pipe carbon steel with 06 inches in diameter and length of 300 meters covered by a conventional protective of initial efficiency of 95% and final 90% was assumed, buried in soil with average resistivity around 1,200 ohms × cm. From the parameters and characteristics, it was possible to mount the cathodic protection system in which defined the values for the electrical current to be employed, total area to be covered, necessary zinc mass and the number of anodes. Through the studies, it was found that the cathodic protection is an effective technique to combat corrosion on carbon steel pipes buried facilities, presents considerable factors for design. But it is not a satisfactory method for small projects and low cost.*

**Keywords:** Corrosion. Cathodic protection system. Carbon steel. Zinc.

## 1- INTRODUÇÃO

Os problemas resultantes da corrosão são frequentes e atingem as mais diversas atividades vinculadas aos setores industriais, caracterizando-se desse modo como um agravante no que se refere aos aspectos econômicos e ambientais, uma vez que os gastos e a quantidade de insumos necessários para substituir ou repar as instalações industriais e equipamentos atingidos são muito elevados. Assim, o termo corrosão está associado a um processo espontâneo resultante da ação do meio sobre diversos materiais, propiciando a deterioração e a redução da vida útil de um material. Esta, por sua vez, pode se apresentar como um desgaste total ou parcial de origem química, eletroquímica ou eletrolítica.

No âmbito econômico, este processo desencadeia elevados prejuízos em decorrência das perdas de investimentos. Mello (2011) destaca que 30% do material metálico produzido é direcionado à reposição ou reparos provenientes da corrosão. Além disso, tal fenômeno é responsável por ocasionar contaminações, induzir a exploração de matéria não renovável e assim, contribui também para uma série de perdas sociais devido aos acidentes propiciados pelo processo corrosivo.

Dessa forma, a utilização de materiais e técnicas capazes de combater e resistir à corrosão por meio da aplicação de processos metalúrgicos se apresenta como métodos viáveis para retardar ou controlar o processo corrosivo. Dentre eles, o uso de revestimentos protetores e emprego de proteção catódica. Esses métodos têm por finalidade eliminar por processos artificiais as áreas anódicas da superfície metálica, evitando assim a diferença de potencial.

Tal fator apresenta significativa importância, uma vez que a ocorrência de áreas com potenciais diferentes aceleram o processo corrosivo e modificam a composição química do metal, devido à inclusão de compostos não metálicos. Outros aspectos diretamente vinculados à deterioração dos materiais são as variações de tensões decorrentes dos esforços mecânicos e a diferença de concentração advindo dos processos de conformação ou soldagem do material.

Para a escolha de um sistema de proteção catódica, devem ser considerados tanto os aspectos técnicos quanto os econômicos. Assim, as características da estrutura metálica a proteger e o meio onde esta será utilizada são os fatores que mais influenciam na tomada de decisão. Desse modo, este trabalho tem por objetivo elaborar um projeto de um sistema de proteção catódica para uma instalação de tubulação de aço carbono de geometria cilíndrica, utilizada para o transporte de fluidos de petróleo e derivados proveniente de campos submarinos.

## 2 CORROSÃO

A corrosão é uma problemática muito presente no cotidiano, visto que todos os compostos metálicos, bem como seus derivados estão propícios a se deteriorarem. Assim, este fenômeno pode ser descrito como um processo espontâneo resultante da atuação do meio sobre diversos materiais, proporcionando a deterioração e a redução da vida útil. Conforme Guimaraes (2004), cientificamente, o termo corrosão é empregado afim de designar o processo de destruição total, parcial, superficial ou estrutural dos materiais por um ataque eletroquímico, químico ou eletrolítico. Com base nesta definição, pode-se classificar a corrosão em: eletroquímica, química e eletrolítica.

A corrosão eletroquímica é um processo natural que ocorre com muita frequência na natureza, esta tem como característica principal a interação do material metálico com um eletrólito que normalmente é um meio aquoso. A partir dessas interações, ocorre a formação das pilhas de corrosão e a degradação do material. Em relação à corrosão química, esta se caracteriza como um ataque direto de um agente químico sobre uma superfície ou estrutura metálica, não há a necessidade da presença de água e tampouco a migração de elétrons. Esse processo ocorre principalmente quando o meio corrosivo é um meio ácido, onde além da degradação do material, ocorre a formação de um produto resultante da oxidação na superfície. Já a corrosão eletrolítica, é um processo não-espontâneo que ocorre mediante a aplicação de uma corrente elétrica.

Com base em Ferreira (2002), as formas de corrosão podem ser apresentadas considerando-se a aparência ou forma de ataque, bem como as diferentes causas da corrosão. Assim, pode-se estudar este fenômeno segundo a morfologia e os mecanismos. Os principais tipos de corrosão provenientes da morfologia são: por placas, uniforme e puntiforme. Quanto aos tipos provenientes dos mecanismos destacam-se a corrosão galvânica, em torno do cordão de solda e a corrosão advinda das solicitações mecânicas.

Além dos tipos de corrosão, é necessário destacar e classificar os meios corrosivos. Estes podem ser dispostos de acordo com as características do ambiente. Assim, podem ser classificados em rural, urbano, marinho e industrial, podendo ocorrer a combinação desses meios e a formação de novos ambientes. O meio rural é caracterizado por ser um ambiente com pouca concentração de poluentes, o que o torna corrosivamente menos agressivo. Quanto ao espaço urbano, este possui uma concentração de poluentes atmosféricos significativa, fator que vem a contribuir para desencadear ou acelerar a corrosão. No que se refere aos ambientes industriais, há uma concent-

ração de sulfatos e outros derivados do enxofre, tais compostos são altamente corrosivos. Já o ambiente marinho torna-se um agressor devido às altas concentrações de sais e íons cloreto, estes aceleram o processo de corrosão e conseqüentemente interferem negativamente na conservação dos materiais metálicos.

Independentemente do meio ou da classificação, a corrosão contribui para o surgimento de uma série de fatores com alto potencial danoso que interferem no bem estar da sociedade, bem como na conservação dos recursos naturais. No âmbito econômico, este processo desencadeia prejuízos elevados em decorrência das perdas de investimentos. Guimaraes (2004) destaca que 30% do material metálico produzido é direcionado à reposição ou reparos provenientes da corrosão. Além disso, tal fenômeno é responsável por ocasionar contaminações, induzir a exploração de matéria não renovável e assim, contribui também para uma série de perdas sociais devido aos acidentes propiciados pelo processo corrosivo.

### 3 PROTEÇÃO CATÓDICA

Quando uma instalação metálica encontra-se enterrada ou submersa, existe sempre um fluxo de corrente através do eletrólito, desde a área anódica até a catódica, sendo que o retorno da corrente se processa por intermédio do circuito externo, o qual, no caso das tubulações enterradas, é constituído pelos próprios tubos metálicos. Quando a corrente deixa a área anódica e penetra no eletrólito, produz uma reação eletroquímica na superfície. Essa reação envolve íons positivos do metal nas áreas anódicas e os íons negativos existentes no eletrólito, resultando, como produto de corrosão, no composto do metal. A corrente migra através do eletrólito e penetra na área catódica, sendo que nessa região, os íons positivos provenientes da solução são liberados, geralmente sob a forma de hidrogênio atômico.

Frequentemente há o desprendimento de hidrogênio gasoso, podendo ainda, através de reações secundárias, haver a formação de outros compostos tais como hidroxilas, carbonatos e cloretos. Assim sendo, nas áreas catódicas, as reações não se processam com o material metálico e sim com o eletrólito, razão pela qual existe ausência de corrosão.

A formação de hidrogênio e outros compostos sobre a superfície do catodo é conhecida com o nome de "polarização catódica", fenômeno que tende a reduzir a atividade da pilha de corrosão. Entretanto, agentes despolarizantes, tais como o oxigênio, combinam-se com o hidrogênio, formando íons hidroxila ou água, o que mantém a atividade das pilhas de corrosão.

Em função dessas considerações, conclui-se que se toda a superfície de uma instalação metálica, enterrada

ou submersa, adquira comportamento catódico, a estrutura não sofrerá ataque corrosivo, ficando completamente protegida pela ação da "proteção catódica". É possível realizar esse processo a partir de uma estrutura de um fluxo de corrente de proteção, proveniente de uma fonte externa, com uma intensidade tal que seja capaz de anular as correntes de corrosão das diversas pilhas existentes na superfície metálica.

Segundo Gomes (1993), em Sistemas de proteção catódica, para a proteção da estrutura com a máxima economia são usados, com muita frequência, esquemas mistos de proteção anticorrosiva, utilizando-se um revestimento de custo vantajoso, com boas qualidades isolantes, complementado com a instalação de um sistema de proteção catódica, de custo bastante baixo, já que a corrente de proteção a ser aplicada, agora, pode ser de intensidade muito inferior.

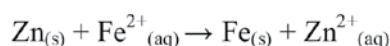
### 4 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo qualitativo, no qual foi empregado o método dedutivo para formular as hipóteses que posteriormente tornaram-se base para os estudos. Conforme Gil (1999), o raciocínio dedutivo busca explicar o conteúdo das premissas por intermédio de uma cadeia de raciocínio em ordem descendente, de uma análise do geral para o particular. Nesse método, a partir das premissas já existentes, são formulados novos argumentos, denominados conclusões.

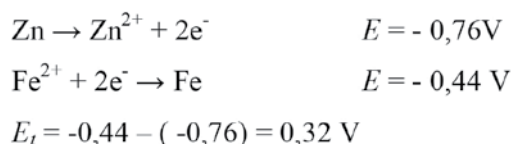
Para a elaboração do projeto, admitiu-se inicialmente uma tubulação de aço carbono com diâmetro de 06 polegadas e comprimento de 300 metros revestida por um protetor convencional, à base de piche de carvão, o qual tem eficiência inicial de 95% e final de 90%, tendo como finalidade formar uma barreira isolante entre o material metálico e o eletrólito em atuação. A eficiência do protetor é medida através de testes de injeção de corrente e a estrutura encontra-se enterrada em solo com resistividade média em torno de 1.200 ohm×cm.

Admitiu-se ainda que a estrutura a ser protegida seja uma instalação metálica de pequeno porte, a qual exige uma aplicação rápida, de baixo custo de instalação, e sem movimento relativo entre a estrutura e o meio. Adotou-se a proteção por ânodos galvânicos e o zinco foi utilizado como material de fabricação para os ânodos galvânicos implementados no sistema.

A escolha por esse material para o ânodo decorre das propriedades características do zinco em relação ao solo e sua ampla utilização como ânodo devido ao seu potencial de redução, que de acordo com a tabela de redução pode ser descrito da seguinte forma, quando se trata de reações entre ferro e zinco:



Onde:



Sendo E, a voltagem produzida por cada semirreação e Et, a voltagem total da reação de oxirredução.

Como o zinco é mais eletronegativo do que o ferro, este irá atuar na formação de uma pilha galvânica ao reagir com o ferro, reduzindo a possibilidade de a tubulação sofrer deteriorações pelo processo corrosivo. Considerou-se também que o ânodo de zinco deste sistema faz uso de um enchimento condutor de gesso hidratado e bentonita sem adição de sulfato de sódio à mistura,

visando evitar o contato direto do ânodo com o solo.

## 5 RESULTADOS

A partir dos parâmetros já definidos, foi possível determinar as características do sistema de proteção catódica. As informações referentes às características estão dispostas na Tabela 1:

**Tabela 1** – Características do Sistema

Capacidade da Corrente	740 h/Kg
Potencial medido em relação ao eletrodo de Cu	- 1,10 Volts
Eficiência do ânodo	Inicial – 95%
	Final – 90%
Resistividade elétrica do enchimento condutor	250 Ohm.cm

Fonte: Autoria própria, 2015.b

A partir dessas características, é possível montar o sistema de catódica mediante a definição dos valores referentes à corrente elétrica, área total a ser revestida e massa de zinco necessária.

A corrente necessária à proteção catódica é determinada pela equação 01:

$$I = A \cdot Dc \cdot F \cdot (1 - E) \quad (1)$$

Como a área da estrutura enterrada em contato com o solo, a superfície externa, considerando um tubo de geometria cilíndrica ao longo de 300 m e seu diâmetro externo de aproximadamente 6,625" (168,2 mm = 0,1682 m), a área a ser revestida é dada pela equação 03:

$$A = 2\pi rL \quad (2)$$

Onde r equivale ao raio da circunferência e L está associado à altura da tubulação. Ambos os valores são apresentados em metros.

$$\begin{aligned} A &= 2\pi(0,08413)300 \\ A &= 158,58\text{ m}^2 \end{aligned}$$

A densidade de corrente, para resistividade do solo admitida em  $\rho = 1200\text{ ohm.cm}$ , e a partir da equação 03 é possível obtê-la:

$$Dc = 73,73 - 13,35 \cdot \log \rho \quad (3)$$

$$Dc = 32,6229\text{ mA.m}^2$$



Com eficiência final do revestimento constituído por um de esmalte de piche de carvão corresponde a  $e = 90\%$ ; e o fator de correção da velocidade ( $F$ ), admitindo que não exista movimento relativo entre a estrutura e o eletrólito,  $F = 1$ , a corrente é calculada a partir da equação 04:

$$I = 158,58 \cdot Dc \cdot F \cdot (1 - e) \quad (4)$$

$$I = 517,33 A$$

O segundo passo é calcular a massa necessária de ânodo para uma determinada vida, admitindo que a capacidade da corrente, de acordo com a tabela de propriedades dos ânodos galvânicos, é 740 A. h/Kg, um fator de utilização do ânodo igual ao convencional e desejando uma vida útil de 15 anos para o ânodo, pode-se obter o valor da massa através da equação 05:

$$M = \frac{8.760 \times V \times I}{C \times F} \quad (5)$$

$$M = \frac{8.760 \times 15 \times 517,33}{740 \times 0,85}$$

$$M = 108073,77 Kg$$

Desconsiderando o formato achatado, aplica-se o ânodo de zinco considerando as características do produto produzido pela Zincoliga, fabricante dos ânodos referido ao longo do trabalho, e seus padrões para o ânodo do tipo ZL 490 apresenta uma massa líquida unitária,  $m = 48,5$  Kg. Dessa forma, tem-se que o número de ânodos, dado pela razão entre a Massa  $M$  total e a Massa líquida unitária é aproximadamente 2228 ânodos.

Portanto, independentemente de qualquer avaliação que seja feita, percebe-se que o número de ânodos é muito alto e, de certa forma, ultrapassa a quantidade desejada para um sistema de proteção de baixo custo quando se necessita proteger apenas 300 m de linha de tubulação. Da mesma forma, seguindo relatos de experiência em sistemas de proteção catódica, a indicação seria a utilização de uma quantidade de um ânodo para cada 30/60 m<sup>2</sup> de estrutura, número que não atende aos padrões do projeto analisado neste trabalho.

Segundo as considerações do fabricante, a corrente liberada pelos ânodos equivale a 1,97. Logo, por este método, o número de ânodos é dado pela equação 06:

$$\frac{I}{i} \quad (6)$$

$$\frac{517,33 A}{1,97 A} = 262$$

No entanto, admitindo que o ânodo com referida massa não fora ensacado com o enchimento condutor apropriado, o qual consiste de uma mistura de gesso hidratado e bentonita com ou sem a adição de sulfato de sódio necessário para aplicação da proteção galvânica em instalações enterradas, sugere-se seguir o projeto com o cálculo do número de anodos individuais. Esse cálculo decorre da equação 07, e pode ser feito dividindo-se a corrente total necessária pela corrente liberada por cada anodo individual.

$$i = \frac{\Delta V}{R} \quad (7)$$

Onde  $\Delta V$  é diferença de potencial disponível entre o anodo e a estrutura polarizada em V, ele geralmente assume valores como  $\Delta V = 0,70$  V, para ânodos de magnésio e  $\Delta V = 0,25$  V, para ânodos de zinco e alumínio; no entanto, admitiremos  $\Delta V = 0,32$  V, que corresponde ao valor determinado anteriormente de acordo com a tabela de potencial de oxirredução.

Seja  $R$  a resistência de contato anodo/eletrólito (ohm), calculada por:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{r} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

$$R = 39,18172$$

Logo, a corrente liberada por cada anodo individual é dada pela equação 09:

$$i = \frac{\Delta V}{R} \quad (9)$$

$$i = 0,008167 A$$

Utilizando a equação 10 obtêm-se o número total de ânodos:

$$\frac{M}{m} \quad (10)$$

$$\text{NÚMERO DE ÂNODOS} = 63343,9$$

Esse valor se encontra fora do padrão admitido inicialmente para o projeto, pois para serem eficientes, os sistemas de proteção catódica precisam, geralmente, ser trocados e ser inspecionados com uma certa frequência e reparados sempre que necessário, de modo a manter as tubulações ou estruturas permanentemente energizadas, com potenciais suficientemente negativos em

relação ao solo dentro dos limites de proteção catódica. Fatores que incluem um custo elevado e só seria viável para uma instalação de grande porte.

## 6 CONCLUSÃO

Mediante aos estudos realizados, verifica-se que a proteção catódica é uma técnica eficiente à proteção contra corrosão; no entanto, em instalação de tubulações de aço carbono enterradas, apresenta fatores consideráveis para o projeto quando bem dimensionados e decorrentes de um estudo das informações de campo e levantamento de dados de medição e ocorrência, porém não satisfatórios

para projetos de pequeno porte e baixo custo.

A massa encontrada reserva uma vida útil suficiente e muito superior à desejada no início do projeto. O que implica dizer que seria uma aplicação eficiente, no entanto, representa uma grande desvantagem considerando o custo de inspeção e manutenção no sistema, pois para serem eficientes, os sistemas de proteção catódica precisam ser inspecionados com uma certa frequência e reparados sempre que necessário, de modo a manter as tubulações ou estruturas permanentemente energizadas, com potenciais suficientemente negativos em relação ao solo ou à água, dentro dos limites de proteção catódica.

## REFERÊNCIAS

GOMES, L. P. Sistemas de Proteção Catódica para Postos de Serviço. Encontro Técnico sobre Questões Ambientais em Postos de Serviço. 1. **Anais...** CETESB – São Paulo, 1993.

HENRIQUES, C. C. D. 2008, **Desafios na seleção de materiais na indústria do petróleo**. Palestra apresentada no IX Seminário Brasileiro do Aço Inoxidável. Disponível em: <[http://www.nucleinox.org.br/upfiles/arquivos/downloads/apresent\\_petrobras\\_desafios\\_sele%C3%A7%C3%A3o\\_materiais\\_v2.pdf](http://www.nucleinox.org.br/upfiles/arquivos/downloads/apresent_petrobras_desafios_sele%C3%A7%C3%A3o_materiais_v2.pdf)>. Acesso em: 21 de julho de 2013.

MELLO, Livia da Silva. **Estudo de corrosão localizada dos aços inoxidáveis em sistemas de resfriamento industrial**. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2011.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. UFLA, 729 p., 2006.

NUNES, L.P.; LOBO, A.C.O. **Pintura Industrial na proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

OLIVEIRA, V. L. **Avaliação do desempenho de aço carbono frente à corrosão e erosão-corrosão quando submetidos ao h<sub>2</sub>s**.

POURBAIX, A. **Cathodic protection of supermartensitic 13Cr stainless steels without hydrogen damage**. Supermartensitic Stainless Steel, Brussels, Belgium, 1999.

SILVA, Aleksandra G.S.G; PONTE, Harold A.; PASHCHUK, Artem. **Estudo da influência do hidrogênio permeado nas propriedades eletroquímicas do Nb/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o desenvolvimento de um sensor**. Campinas: 4º DPETRO, 2007.

