

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).

## Quebrando paradigmas:

### Aplicação de proteção catódica galvânica em um duto de médio porte

Joao Paulo Klausing Gervasio<sup>a</sup>, Daniel Alves Torres Filho<sup>b</sup>, Alexandre Vicente da Fonseca<sup>c</sup>

#### Abstract

The first galvanic cathodic protection system of a medium-sized pipeline (approximately 40 km long) operated by Petrobras was designed about five years ago. At the time, there were some doubts about the functioning of this system. The major concern was the limitation of maximum resistivity imposed by ISO 15589-1:2003 for application of galvanic anodes in the soil. However, with the recent evolution of anti-corrosion coatings, particularly the triple-layer polyethylene, the cathodic protection current demand dropped sharply. However, a negative effect was enhanced by the development of coatings: increased electrical interference. In this scenario, the application of galvanic anodes received a boost because it meets the demand of cathodic protection current and helps to reduce interference. In addition, the new version of ISO 15589-1:2015 is more flexible for this solution. Reduction in inspection and maintenance over the lifetime of the pipeline costs is expected.

**Keywords:** galvanic anode, cathodic protection, onshore pipeline.

#### Resumo

Há cerca de cinco anos foi projetado o primeiro sistema de proteção catódica galvânica de um duto de médio porte (com aproximadamente 40 km de extensão) operado pela Petrobras. Na época, pairavam algumas dúvidas sobre o funcionamento deste sistema. A principal delas era em relação à limitação da resistividade máxima para aplicação de anodos galvânicos no solo imposta pela ISO 15589-1:2003. Entretanto, com a evolução dos revestimentos anticorrosivos, particularmente o polietileno tripla camada, a demanda de corrente de proteção catódica caiu bastante. Por outro lado, o desenvolvimento dos revestimentos trouxe um efeito negativo: aumento das interferências elétricas. Neste cenário, a aplicação de anodos galvânicos ganhou um impulso, pois atende a demanda de corrente de proteção catódica e ajuda a reduzir as interferências. Adicionalmente, a nova versão da ISO 15589-1:2015 é mais flexível quanto à utilização desta solução. Espera-se assim, reduzir os custos de inspeção e manutenção ao longo da vida útil do duto.

**Palavras-chave:** anodo galvânico, proteção catódica, duto terrestre

<sup>a</sup> Engenheiro, consultor - PETROBRAS

<sup>b</sup> Engenheiro, técnico de inspeção - PETROBRAS

<sup>c</sup> Técnico de inspeção - TRANSPETRO

## **Introdução**

---

Proteção catódica é uma técnica anticorrosiva amplamente conhecida, cujo mecanismo básico consiste na circulação de uma corrente elétrica contínua, capaz de polarizar uma estrutura metálica, que passa a comportar como um catodo de uma pilha eletroquímica. Essa corrente elétrica pode ser obtida por duas técnicas distintas: utilizando anodos galvânicos ou de sacrifício ou por meio de uma fonte externa de corrente contínua.

Historicamente, salvo raras exceções, a proteção catódica por corrente impressa é utilizada como técnica de fornecimento de corrente elétrica em dutos terrestres. De fato, para a grande maioria dos dutos construídos no século XX, pode-se dizer que a corrente impressa é essencial.

Tipicamente, a proteção catódica é utilizada em conjunto com um revestimento anticorrosivo, reduzindo assim consideravelmente a área de superfície a ser protegida. A tecnologia aplicada aos revestimentos progrediu bastante nos últimos anos, aumentando a eficiência dos mesmos e reduzindo proporcionalmente a necessidade de corrente de proteção catódica. No entanto, esta alta eficiência acarreta uma consequência negativa, que é o aumento considerável de interferências elétricas provenientes de linhas de transmissão de alta tensão.

O trabalho aborda os resultados de uma condição pouco utilizada em sistemas de proteção catódica de dutos terrestres: uso de anodos galvânicos, que demonstraram ser bastante eficazes para a condição “duto novo com excelente revestimento em nova faixa”.

## **Proteção catódica com anodos galvânicos**

---

Vários fatores fazem aumentar a complexidade do projeto de um sistema de proteção catódica para um duto terrestre, se comparado a um projeto para um duto submarino, por exemplo. Enquanto na água do mar o eletrólito é bastante uniforme, para dutos terrestres existem vários complicadores:

- Heterogeneidade do eletrólito, ou seja, as características do solo, como umidade, pH, resistividade, etc. variam muito ao longo do traçado de um duto, criando macropilhas de corrosão;
- Interferências elétricas oriundas de sistemas de transporte eletrificados, como trens e metrô;
- Interferências elétricas de linhas de transmissão e distribuição de energia;
- Estruturas metálicas enterradas que “roubam” corrente de proteção.

Todos estes fatores somados induzem o projetista a elaborar um sistema de proteção catódica por corrente impressa. Apesar da relativa alta resistividade do solo, dutos com revestimentos antigos necessitam de uma enorme quantidade de corrente, que somente pode ser obtida com o uso de fontes externas de corrente impressa.

Em contrapartida, um duto novo com polietileno tripla camada em uma faixa nova, necessita de uma corrente muito baixa para garantir sua proteção. Além disso, o alcance da proteção é maximizado.

A norma ISO 15589-1, proteção catódica de dutos terrestres, dedica um capítulo inteiro ao sistema de anodos galvânicos. Este sistema é recomendado onde não houver energia elétrica para um retificador disponível, para proteção temporária e como complemento ao sistema de corrente impressa.

No entanto, a mesma norma impõe algumas restrições e recomendações: a proteção galvânica deve ser considerada em dutos de pequeno diâmetro ou em trechos curtos de dutos de maior diâmetro com revestimento de alta qualidade, além de ser usado em solos de baixa resistividade (água, pântano ou brejos), com resistividade não superior a  $30\Omega.m$  para anodos de zinco e  $150\Omega.m$  para anodos de magnésio.

Apesar das restrições impostas pela norma, observações de campo, principalmente durante a proteção provisória de novos dutos, concluiu-se que sim, mesmo para resistividades altas seria possível utilizar sistemas galvânicos para novos dutos, principalmente se estes forem em uma faixa nova.

Adicionalmente ao problema da corrosão do solo, existem as interferências. Várias ações específicas podem ser realizadas para reduzir essas interferências: eliminando ou limitando a corrente de interferência que flui pelo duto enterrado, criando um caminho preferencial para a corrente de interferência, impedindo que ela saia pela parede metálica do duto, aumentando o nível de proteção catódica ou removendo ou deslocando a fonte da interferência.

Anodos galvânicos instalados ao longo de um duto terrestre com excelente revestimento fazem o papel de um aterramento elétrico. Deste modo, sempre serão caminhos para a saída das correntes de interferência que existirem, evitando a corrosão eletrolítica. Diodos em série com os anodos podem ser necessários, para evitar a entrada de corrente de interferência.

É importante ressaltar que um nível da interferência muito elevado pode levar a um desgaste acelerado dos anodos. Portanto, é necessário verificar regularmente a corrente drenada pelo leito galvânico a fim de garantir sua vida útil. Em alguns casos específicos, a utilização dos anodos galvânicos pode não ser suficiente e medidas adicionais necessitam ser adotadas. Para interferências provenientes de sistemas de transporte eletrificado, uma ligação elétrica por meio de uma drenagem deve sempre ser considerada.

---

### **Implantação – Memória de cálculo**

---

O sistema de proteção catódica galvânico foi aplicado a um duto em faixa nova com aproximadamente 44 km de extensão e 32 polegadas de diâmetro, com revestimento de polietileno tripla camada.

Como premissa de projeto foi adotado um valor de densidade de corrente do duto revestido de  $0,04 \text{ mA/m}^2$ , um valor até conservador para este revestimento. O sistema foi concebido com um anodo de magnésio de 46 kg instalado em cada ponto de teste, em uma profundidade máxima de 15 m, totalizando 25 unidades.

A corrente total de proteção catódica foi estimada em 4,5 A, calculada através da fórmula 1:

$$I = J \times F_c \times 2\pi r L \quad (1)$$

Onde:

$J \times F_c$  = Densidade de corrente do duto revestido [mA/m<sup>2</sup>]

$r$  = Raio do duto [m]

$L$  = Comprimento do duto [m]

A resistência de contato dos anodos com o solo também é importante, pois com ela é possível calcular a corrente máxima drenada por anodo.

A resistência é calculada com dados colhidos em campo da resistividade do solo em cada ponto de instalação de anodo e depende das dimensões do anodo escolhido (fórmula 2). Como a resistividade varia muito, os valores das resistências oscilaram entre 1 e 40Ω.

$$R = \frac{0,005 \times \rho}{\pi \times L} \left[ \ln\left(\frac{4 \times L}{D}\right) \right] - 1 \quad (2)$$

Onde:

$\rho$  = Resistividade do solo [Ωcm]

$L$  = Comprimento da coluna ativa do anodo [m]

$D$  = Diâmetro da coluna ativa do anodo [m]

Por fim, a fórmula 3 mostra o cálculo da corrente drenada por anodo. A corrente total drenada pelos 25 anodos ficou em 6,1 A.

$$I_a = \frac{\Delta V}{R}$$

Onde:

$\Delta V$  = Diferença de potencial entre o anodo e o duto [V]

$R$  = Resistência do anodo com o solo [Ω]

### **Implantação – Instalação e pré-operação**

---

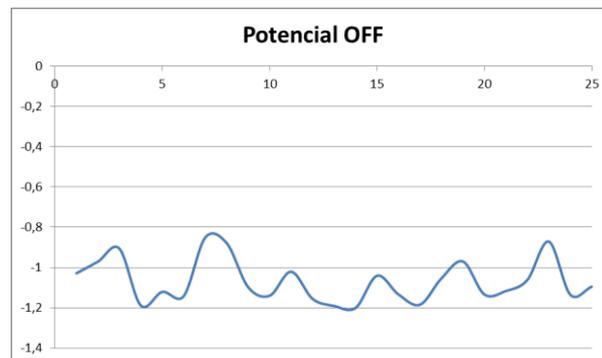
Uma particularidade ocorreu na execução da obra deste duto: ele não foi construído em sua totalidade, devido a fatores diversos. Na primeira etapa de construção, trechos independentes foram lançados sem que houvesse uma continuidade elétrica em toda sua extensão.

O projeto de proteção catódica com anodos distribuídos foi, portanto, muito conveniente pela situação singular de construção deste duto, uma vez que seria impossível proteger sua totalidade com um sistema tradicional de corrente impressa.

Foram baixadas quatro colunas independentes com aproximadamente 11 km, 600 m, 16 km e 15 km de comprimento e 11, 3, 10 e 8 anodos instalados respectivamente em cada trecho.

Foram realizados os seguintes ensaios de pré-operação: alcance dos anodos; registro de potencial cupom/solo ON/OFF; medição instantânea de potencial alternado; inspeção de potenciais Passo a Passo “ON” em todos os trechos enterrados.

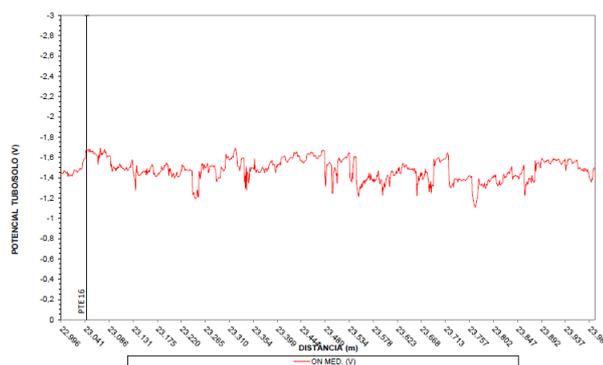
O gráfico da figura 1 abaixo mostra os resultados do levantamento de potencial cupom/solo OFF em todos os pontos de teste, levantados 3 semanas após o início da pré-operação, indicando que todos os pontos estão com potencial dentro do critério da norma ISO 15589-1:



**Figura 1: Potencial cupom/solo OFF**

Os potenciais alternados instantâneos permaneceram muito baixos, quase sempre desprezíveis. No entanto, o fato do duto estar seccionado ajuda a reduzir os níveis de interferência de um modo geral. Este parâmetro deve ser reavaliado após a conclusão do projeto.

O levantamento de potencial ON passo a passo funciona como termômetro para verificar como está o comportamento da atenuação de potencial ao longo de todo o duto. Deste modo, pode-se concluir que com um revestimento de qualidade, como o utilizado no duto, a atenuação de potencial é mínima, como pode ser visto no gráfico da figura 2, com uma amostra do potencial passo a passo que se estende por aproximadamente 1 km.



**Figura 2:** Amostra do levantamento passo a passo

## Conclusões

Vale a pena considerar o uso de anodos galvânicos de magnésio para a proteção catódica definitiva de dutos terrestres novos (com revestimento de PE3L) em faixas novas, independentemente do valor da resistividade do solo.

O sistema com anodos galvânicos apresenta as seguintes vantagens, se comparados com o sistema tradicional:

- Não requer eletricidade externa;
- Provê um aterramento aos dutos, cada vez mais isolados do solo, atenuando interferências;
- Muito mais estável e muito menos propenso a falhas;
- Reduz significativamente os custos com manutenção/inspeção do sistema de proteção catódica.

As medições de potenciais ON/OFF apresentaram valores de potencial dentro do critério de proteção catódica estabelecido.

As medições de potencial “ON” passo a passo indicam que, como previsto, há pouca atenuação de potencial ao longo do traçado do duto.

## Referências bibliográficas

- (1) ISO 15589-1 - Petroleum and natural gas industries – Cathodic protection of pipeline transportation systems, part 1: On-land pipelines
- (2) GERVASIO, J. P. K.; TORRES FILHO, D. A. Application of galvanic anodes in onshore pipelines. Rio Pipeline. 2011.