



12ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos

COTEQ2013-173

DETERMINAÇÃO DE DENSIDADES DE CORRENTE NO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CATÓDICA

Laerce de P. Nunes¹, Anderson T. Kreischer², Luiz R. M. de Miranda³

Copyright 2013, ABENDI, ABRACO e IBP

Trabalho apresentado durante 12ª Conferencia sobre Tecnologia de Equipamentos.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores.

SINOPSE

A determinação da densidade de corrente mais adequada para proteção de estruturas a serem protegidas catodicamente de modo geral segue padrões bem estabelecidos e sobejamente conhecidos dos projetistas.

Há, entretanto, situações em que devido a resistividades muito baixas (inferiores a 10 Ohm.cm), muito altas (superiores a 100.000 Ohm.cm), valores de pH muito afastado do neutro, forte movimentação, presença de bactérias, dentre outras, os valores de densidade de corrente fogem ao tradicional e nestes casos o projetista necessita investigar os valores mais adequados.

O presente trabalho aborda as ações a serem implementadas para avaliação da corrosividade do meio (eletrólito) e das densidades de corrente a serem utilizadas nestes casos especiais.

1 Eng. Metalúrgico – IEC – Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda. – Gerente de Projetos

2 Eng. Metalúrgico – IEC – Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda. – Gerente de Projetos

3 Doutor, Eng. Metalúrgico – ECOPROTEC – Diretor

1. INTRODUÇÃO

A determinação da densidade de corrente mais adequada para proteção de estruturas a serem protegidas catodicamente de modo geral segue padrões bem estabelecidos e bastante conhecidos dos projetistas.

Há, entretanto, situações em que devido a resistividades muito baixas (inferiores a 10 Ohm.cm), muito altas (superiores a 100.000 Ohm.cm), valores de pH muito afastado do neutro, forte movimentação, presença de bactérias, revestimento envelhecido, pares galvânicos, dentre outras, os valores de densidade de corrente fogem ao tradicional e nestes casos o projetista necessita investigar os valores mais adequados.

O presente trabalho aborda as ações a serem implementadas para avaliação da corrosividade do meio (eletrólito) e das densidades de corrente a serem utilizadas nestes casos especiais e poderão obedecer aos seguintes aspectos:

- i. Avaliação da corrosividade do meio (eletrólito) e da dificuldade de polarização catódica através do levantamento de curvas de polarização catódica em laboratório, cuja finalidade deste ensaio é avaliar e definir o grau de corrosividade do meio a partir da análise das curvas de polarização catódica em conjunto com outros ensaios.
- ii. Ensaios de Campo para avaliação da dificuldade de polarização e melhor definição das densidades de corrente para adequada polarização. O objetivo deste ensaio é avaliar e definir, nas condições onde estará lançado o duto, o grau de dificuldade para polarização considerando a corrosividade detectada no ensaio de polarização efetuado em laboratório.
- iii. Proteção provisória durante a montagem e lançamento e dados da pré-operação, para preservar a integridade da estrutura e prover informações para análise, juntamente com as ações anteriores sobre os parâmetros utilizados no projeto do sistema de proteção catódica. Estas ações serão consideradas também como um ensaio de campo.
- iv. Instalação de cupons de proteção catódica nos pontos teste de medição de potencial eletroquímico para avaliar o nível de proteção anticorrosiva alcançado e o tamanho de defeito a ser tolerado no revestimento com o qual ainda se consegue assegurar a proteção anticorrosiva.

2. PROCESSO TRADICIONAL DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE CORRENTE DE PROTEÇÃO

Os valores de densidade de corrente a ser adotado em um projeto depende de vários fatores, entre os quais: resistividade elétrica do meio, do tipo de material metálico a proteger, a aeração do meio, temperatura, pH, movimentação, presença de bactérias, tipos de compostos existentes no meio etc.

Tradicionalmente os projetistas de sistemas de proteção catódica definem as densidades de corrente de proteção baseados em duas situações:

- Uso de valores práticos obtidos em projetos similares;
- Aplicação de expressões e ábacos disponíveis na literatura.

No que se refere a valores práticos requer similaridade entre os projetos e muita experiência dos projetistas.

Quanto ao uso de fórmulas e ábacos é comum a aplicação com sucesso s seguinte expressão (1):

$$d = 13,35 \log \frac{10^{5,522}}{\rho}$$

Onde: d = densidade de corrente, em mA/m²;
 ρ = resistividade elétrica, em Ohm.cm.

Ou utilizando ábacos, como o da figura 01.

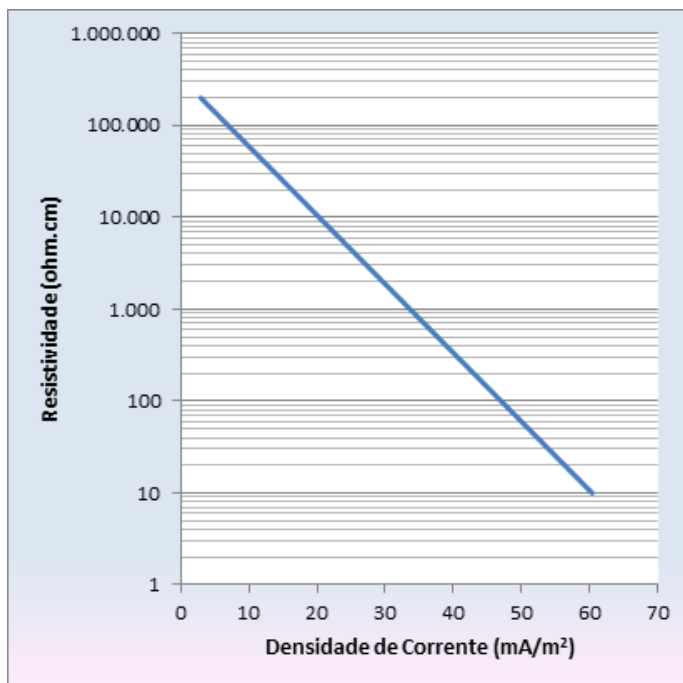


Figura 01 – Variação da Densidade de Corrente de Proteção do Aço em Função da Resistividade Elétrica do Meio

Em meios uniformes com grande variação de temperaturas e de aeração com os oceanos, há indicações nas normas (2), como por exemplo, a DNV sobre valores recomendados para proteção catódica que variam de 100 a 250 mA/m².

Há, entretanto, situações em que devido a resistividades muito baixas (inferiores a 10 Ohm.cm), muito altas (superiores a 100.000 Ohm.cm), valores de pH muito afastado do neutro, forte movimentação, presença de bactérias, Existência de pares galvânicos, grande deficiência em revestimentos de dutos, dentre outras, os valores de densidade de corrente fogem ao tradicional e nestes casos o projetista necessita investigar os valores mais adequados.

O presente trabalho aborda as ações a serem implementadas para avaliação da corrosividade do meio (eletrólito) e das densidades de corrente a serem utilizadas exatamente nestes casos especiais, para avaliação da dificuldade de polarização e melhor definição das densidades de corrente para adequada polarização.

3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO COM A UTILIZAÇÃO DAS CURVAS DE POLARIZAÇÃO CATÓDICA

O traçado das curvas de polarização é realizado em laboratório com potenciostatos. Para isto é necessário que se tenha amostras representativas do material e do meio.

Em meios líquidos homogêneos, de modo geral, não há dificuldade em se ter uma amostra representativa do meio, em solos, entretanto pela variedade de resistividades elétricas esta tarefa deve ser criteriosamente desenvolvida.

A interpretação dos resultados exige conhecimento do profissional e requer que se faça em conjunto com outros ensaios para que se tenha uma avaliação mais segura.

É conveniente considerar que pelo tamanho da amostra corre-se o risco de introduzir erro significativo na densidade obtida.

A título de exemplo, a figura 02 mostra duas curvas de polarização catódica do aço carbono em água doce de características especiais.

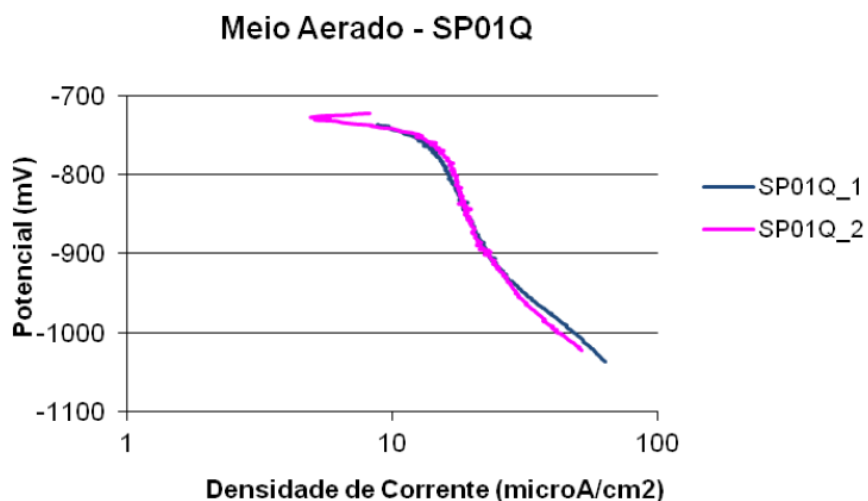


Figura 02 – Curvas de polarização catódica para avaliação da densidade de corrente de proteção do aço em água doce poluída

Um recurso também muito utilizado tem sido o uso de programas que simulam a distribuição de corrente e dos potenciais de proteção em estruturas (3).

4. UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE CAMPO

Os ensaios de campo são recursos um pouco mais precisos que os ensaios de laboratório, particularmente por trabalharem em condições que se assemelham mais à instalação real. Os principais são os ensaios em dutos terrestres existentes, ensaios em tanques existentes e ensaios para estruturas submersas em fase de projeto.

4.1. Ensaios em Dutos Terrestres Existentes

Dutos terrestres antigos podem apresentar revestimento muito deficiente e de forma extremamente irregular, neste caso a maneira mais segura de verificar a densidade de corrente de proteção é pela aplicação da expressão:

$$d = \frac{I}{S \cdot (1 - E)}$$

Onde: d = densidade de corrente, em A;

I = Corrente de proteção do trecho de alcance da corrente na figura 03.

E = Eficiência média esperada para o revestimento, que varia de 0 a 1.

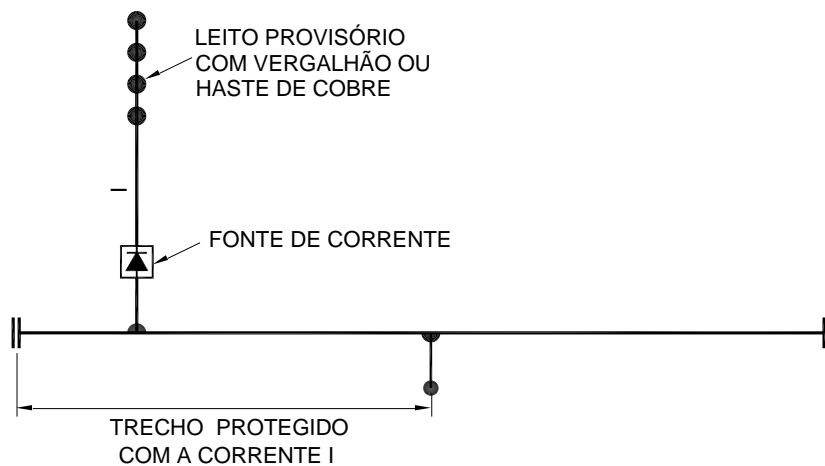


Figura 03 – Croqui da Injeção de Corrente em Trecho do Duto.

Como se vê pela figura utilizando-se um uma fonte de corrente e um leito de anodos provisório consegue-se proteger um trecho com área conhecida. Estimando-se uma eficiência média para o revestimento é possível calcular a densidade de corrente.

4.2. Ensaio em Tanques de Armazenamento Antigos

Para tanques de armazenamento antigos existe na determinação da densidade de corrente de proteção, um elevado nível de incerteza, em face do envelhecimento do revestimento e dos aterramentos que formam importantes pares galvânicos.

Para ensaio escolhe-se um tanque ou grupo que possa ser tratado de forma mais isolada, faz uma injeção de uma corrente para proteger estes tanques e determina-se a densidade de corrente pela expressão:

$$d = \frac{I}{S \cdot (1 - E) Fg}$$

Onde: d = densidade de corrente, em A;

I = Corrente de proteção do trecho de alcance da corrente na figura 04.

E = Eficiência média esperada para o revestimento, que varia de 0 a 1;

Fg = Fator galvânico estimado (4)

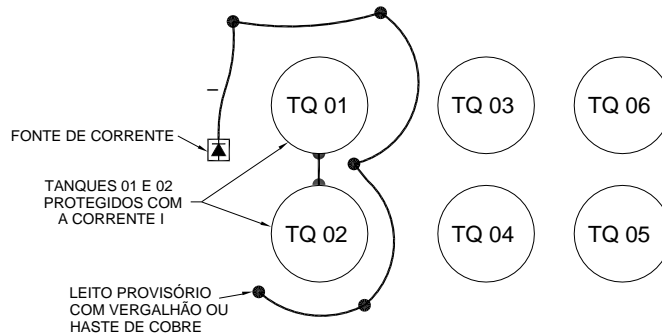


Figura 04 – Croqui da Injeção de Corrente em um Grupo de Tanques.

Como se vê pela figura utilizando-se um uma fonte de corrente e um leito de anodos provisórios consegue-se proteger uma área conhecida de tanques. Estimando-se uma eficiência média para o revestimento e um valor para o fator galvânico é possível calcular a densidade de corrente.

4.3. Ensaio para Estruturas Submersas em Fase de Projeto

Para estruturas submersas em água doce ou salgada vê-se na figura 05, a seguir um dispositivo típico para realização de um ensaio para determinação da densidade de corrente.

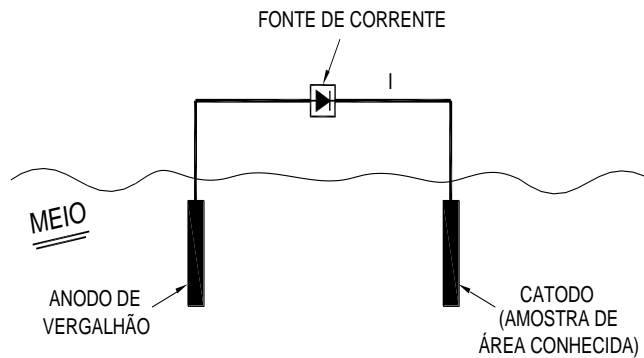


Figura 05 – Croqui da Injeção de Corrente em uma Estrutura Submersa.

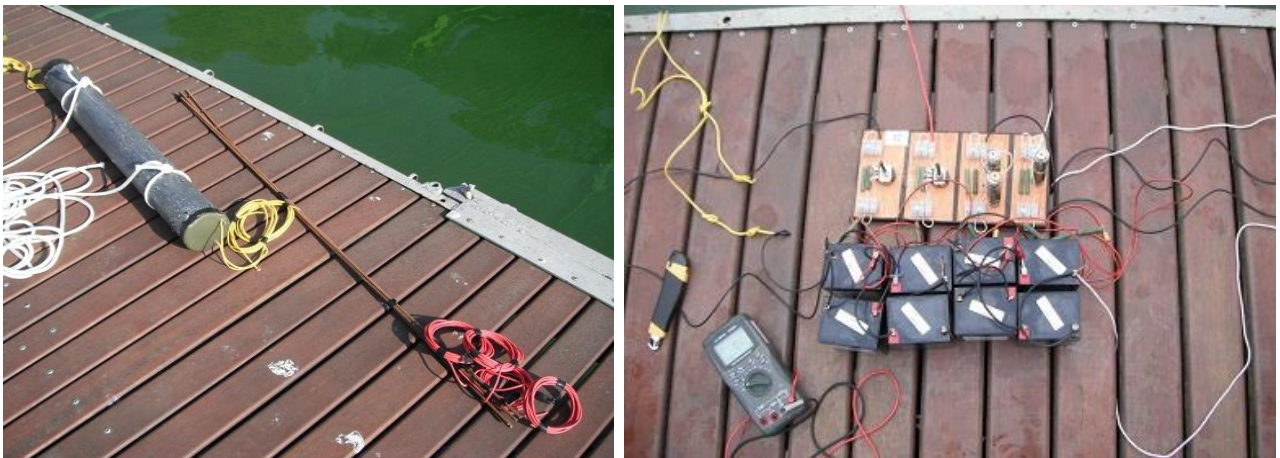


Figura 06 – Dispositivo de Ensaio – Anodo/Catodo e Fonte de Corrente

Como se vê pela figura utilizando-se um catodo de dimensões conhecidas, uma fonte de corrente e anodos provisórios consegue-se proteger a amostra. Estimando-se uma eficiência média para o revestimento é possível calcular a densidade de corrente pela expressão:

$$d = \frac{I}{S \cdot (1 - E)}$$

Onde: d = densidade de corrente, em A;

I = Corrente de proteção do catodo.

E = Eficiência média esperada para o revestimento, que varia de 0 a 1.

5. RELATÓRIOS DE PROTEÇÃO PROVISÓRIA E DE PRÉ-OPERAÇÃO

Nas instalações que se prevê proteção provisória como dutos e FPSO (Floating Production Storage Offloading) os relatórios da proteção provisória são excelente subsídios para avaliação da corrosividade e da eventual dificuldade de polarização da estrutura.

O mesmo pode-se dizer da pré-operação de qualquer sistema de proteção catódica para qualquer tipo de estrutura.

6. INSTALAÇÃO DE COPONS DE TESTE E ENSAIOS COMPLEMENTARES DE INSPEÇÃO

Para o caso específico de dutos a instalação de cupons de teste permite avaliar o grau de polarização em defeitos de dimensões conhecidas e ainda verificar o potencial de polarização (off potential) da estrutura.

Ainda para o caso de dutos técnicas complementares de inspeção, como o Mapeamento de Corrente, o Potencial Passo-a-passo e o DCVG (Direct Current Voltage Gradiente) são importantes recursos para avaliação do grau de polarização do duto.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Sobre os recursos apresentados nos itens 3.0, 4.0, 5.0 e 6.0 é possível verificar que:

- Os ensaios de laboratório são importantes, oferecem qualitativamente, uma primeira ideia da densidade de corrente de proteção e da dificuldade de polarização. Entretanto, isoladamente podem conduzir a densidades muito elevadas pelo tamanho da amostra e eventualmente a dificuldade de reproduzir em extrato aquoso as condições reais do meio;
- Os ensaios de campo são mais precisos, particularmente por trabalharem com amostra mais significativa e condições mais próximas das reais;
- A proteção provisória e pré-operação são de fato condições reais da estrutura e, portanto são melhor representativas das densidades de corrente e das dificuldades de polarização, logicamente é conveniente lembrar que são parâmetros iniciais do revestimento;

- A instalação de cupons de teste e o uso de técnicas complementares de inspeção, no caso de dutos são recursos fundamentais.

8. CONCLUSÕES

Com base no exposto pode-se concluir:

- Na grande maioria das situações os projetistas podem utilizar os parâmetros tradicionais para o dimensionamento dos sistemas de proteção catódica;
- Quando as condições do meio ou da estrutura fogem aos padrões normais é conveniente um conjunto de ações que envolvem ensaios de laboratório, ensaios de campo, dados de proteção provisória e pré-operação, bem como recursos complementares de acompanhamento e inspeção.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Dutra A. C. e Nunes L. P. “Proteção Catódica – Técnica de Combate à Corrosão”, 5ª edição, Editora Interciência, 2011.
- (2) Recommended Practice DNV – RP –B401 – Cathodic Protection Design, 2010.
- (3) Brasil S. L., Kreischer A. T. e Machado, L. R. “Otimização do sistema de proteção catódica de terminal de múltiplo uso através de simulação numérica”, INTERCORR, Salvador/BA, 2012.
- (4) Nunes L. P. e Kreischer A. T. “Dimensionamento de Sistemas de Proteção Catódica – Considerações Sobre o Fator Galvânico”, COTEQ, Porto de Galinhas/PE, 2011.