

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).

## **Proteção Catódica de Estruturas Enterradas Em Áreas Urbanas de Grandes Cidades**

Ieda Nadja Silva Montenegro<sup>a</sup>, Luiz Paulo Gomes<sup>b</sup>, Laerce de Paula Nunes<sup>c</sup>, Anderson  
Teixeira Kreischer<sup>d</sup>

### **Abstract**

Corrosion protection of buried structures by cathodic protection is a practice widely known and applied in all parts of the world.

In general there are no major difficulties in applying this method of corrosion protection, unless the large variation in soil characteristics, with consequent influence on the values of electrical resistivity, pH, aeration, presence of bacteria, etc and especially in congested urban areas in terms of buried structures with great intensity interference currents.

All major cities and especially the metropolitan areas of Brazil have these difficulties for several reasons, among them exactly the variety of soils, interference currents and the unavailability of physical space for anodes installations.

This paper discusses this problem and illustrates two situations: a megalopolis away from the sea as São Paulo and another on the waterfront as well Fortaleza own distinct characteristics. In the case of São Paulo dominates the issue of interference currents, with less emphasis on the issue of corrosion by soil, whereas the specific case of the Metropolitan Region of Fortaleza region there is a high degree of corrosion by the soil, particularly by High salinity leading to a greater predisposition to corrosion of metal structures and is beginning to become also important in this capital, the presence of interference currents.

Keywords : Cathodic protection , underground structures , large cities.

### **Resumo**

A técnica de proteção anticorrosiva de estruturas enterradas, por meio de proteção catódica é uma prática sobejamente conhecida e aplicada em todas as partes do mundo.

De modo geral não há maiores dificuldades na aplicação deste método de proteção anticorrosiva, a não ser a grande variação nas características dos solos, com consequente influência nos valores de resistividade elétrica, pH, aeração, presença de bactérias, etc. e principalmente em áreas urbanas muito congestionadas em termos de estruturas enterradas com grande intensidade de correntes de interferência.

Todas as grandes cidades e principalmente as regiões metropolitanas do Brasil possuem estas dificuldades, por várias razões, dentre elas exatamente pela variedade de solos, por correntes de interferência e pela indisponibilidade de espaço físico para afastamento das estruturas.

O presente trabalho analisa este problema e exemplifica duas situações: uma megalópole afastada do mar como São Paulo e outra na orla marítima como Fortaleza com características próprias e bem distintas. No caso da Grande São Paulo predomina a questão das correntes de interferência, com menor ênfase para a questão de corrosão pelo solo, enquanto que, no caso específico da Região Metropolitana de Fortaleza, observa-se um elevado grau de corrosividade pelo solo, particularmente pela alta salinidade que conduz a uma maior predisposição à corrosão das estruturas metálicas e já começa a se tornar importante também, nesta capital, a presença de correntes de interferência.

**Palavras-chave:** proteção catódica, estruturas enterradas, grandes cidades.

<sup>a</sup> Engenheira Química – NUTEC/DAE, <sup>b</sup> Engenheiro Mecânico – Diretor –IEC, <sup>c</sup> Engenheiro Metalurgista – Gerente de Projetos –IEC, <sup>d</sup> Engenheiro Metalurgista – Gerente de Projetos –IEC

## **Introdução**

---

A proteção anticorrosiva de estruturas enterradas, por meio de proteção catódica é uma prática sobejamente conhecida e aplicada em todas as partes do mundo.

De modo geral não há maiores dificuldades na aplicação deste método de proteção anticorrosiva, a não ser a grande variação nas características dos solos, com consequente influência nos valores de resistividade elétrica, pH, aeração, presença de bactérias, etc. e principalmente em áreas urbanas muito congestionadas em termos de estruturas enterradas com grande intensidade de correntes de interferência (1,2).

Todas as grandes cidades e principalmente as regiões metropolitanas do Brasil possuem estas dificuldades, por várias razões, dentre elas exatamente pela variedade de solos, por correntes de interferência e pela indisponibilidade de espaço físico para afastamento das estruturas.

O presente trabalho analisa este problema e exemplifica duas situações: uma megalópole afastada do mar como São Paulo e outra na orla marítima como Fortaleza com características próprias e bem distintas. No caso da Grande São Paulo predomina a questão das correntes de interferência, com menor ênfase para a questão de corrosão pelo solo, enquanto que, no caso específico da Região Metropolitana de Fortaleza, observa-se um elevado grau de corrosividade pelo solo, particularmente pela alta salinidade que conduz a uma maior predisposição à corrosão das estruturas metálicas e já começa a se tornar importante também, nesta capital, a presença de correntes de interferência.

Para ilustração, o trabalho mostra as características de um sistema de proteção de uma estrutura na região de S. Paulo onde o foco maior foram as correntes de interferência e uma estrutura em Fortaleza onde a maior preocupação ainda foram as características do solo e variação do lençol freático.

Analisa-se ainda no trabalho a concepção dos sistemas de proteção catódica utilizados e os resultados obtidos.

## **Importância da Proteção Catódica nas Grandes Cidades**

---

Os sistemas de proteção catódica são essenciais no mundo moderno como forma de preservar os ativos das empresas, garantir a integridade das instalações e aumentar a confiabilidade operacional.

Nas grandes cidades além dos aspectos anteriores eles tornam-se também imprescindíveis para aumentar a segurança das pessoas e evitar danos ambientais.

Desta forma tubulações de gás, combustíveis, água, dentre outras podem causar grandes danos à população em casos de furos e vazamentos. Estes danos podem envolver os riscos de incêndios, prejuízos ambientais e outros inconvenientes para intervenção para substituição dos trechos corroídos.

No Brasil as dificuldades restringiam-se no passado às regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro, ultimamente, no entanto, com a implantação dos sistemas de transporte por

---

metrôs e a intensa urbanização o problema se estende atualmente a todas as grandes cidades do País e particularmente às capitais dos estados brasileiros. Cidades como Recife, Fortaleza, Belo Horizonte e Porto Alegre passaram a ter estes problemas no seu cotidiano. Acresce-se ainda que em algumas cidades litorâneas como Fortaleza e Rio de Janeiro há uma grande variedade na composição dos solos o que implica em extensa variação de resistividade elétrica e muita variação do lençol freático.

### **Sistemas Proteção Catódica – em Situações Tradicionais e em Áreas Congestionadas das Grandes Cidades**

---

Na proteção catódica de estruturas enterradas algumas considerações são habituais para os sistemas tradicionais, tais como:

- Proteger as estruturas com grande aproveitamento da corrente injetada;
- Posicionar os dispositivos de suprimento de corrente de forma estratégica para que se obtenha a melhor distribuição de corrente possível;
- Otimizar os sistemas (3).

No caso das áreas urbanas, entretanto, tais considerações ficam prejudicadas pelas seguintes razões:

- Correntes de interferência em corrente contínua e em corrente alternada;
- Congestionamento do solo urbano com grande número de estruturas;
- Muita variação nas características dos solos, particularmente nas cidades na orla marítima, onde predomina terrenos arenosos que não retêm umidade e sofrem muita influência da variação do lençol freático;
- Diversidade de materiais (4);
- Muita intervenção nas características dos solos, especialmente aterros e contaminação;
- Deficiência nos espaços para instalação dos sistemas.

Devido a esta dificuldade em definir de uma forma expedita as densidades de corrente mais adequadas, em alguns destes casos, podem ser implementadas ações para avaliação da corrosividade do meio (eletrólito) e definição das densidades de corrente a serem utilizadas, dentre as quais se pode citar (5):

- 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.
- 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 instalada a estrutura, o grau de dificuldade para polarização considerando a corrosividade detectada no ensaio de polarização efetuado em laboratório.
- Proteção provisória durante a montagem e dados da pré-operação, para preservar a integridade da estrutura e prover informações seguras 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.
- Instalação de cupons de proteção catódica nos pontos de teste de medição de potencial eletroquímico para avaliar o nível de proteção anticorrosiva alcançado e o tamanho de

defeito a ser tolerado no revestimento, no caso de dutos, com o qual ainda se consegue assegurar a proteção anticorrosiva.

### **Exemplos Ilustrativos no Estado de São Paulo e no Estado do Ceará**

---

Para ilustrarmos as dificuldades de proteção catódica de estruturas em grandes cidades serão apresentados dois casos: a proteção de uma tubulação de 1000 mm de diâmetro com cerca de 30 km de extensão na Grande São Paulo e a proteção das estacas de contenção do Aquário de Fortaleza.

No primeiro caso a maior dificuldade reside nas correntes de interferência e no segundo caso pela grande variação de resistividade elétrica do solo e variação no lençol freático.

#### **Estrutura localizada no Estado de São Paulo**

Trata-se de uma tubulação na área urbana da Grande São Paulo com as seguintes características gerais:

- Diâmetro: 1000 mm.
- Comprimento: 29 km.
- Revestimento epóxi – polietileno em tripla camada e juntas de campo com mantas termocontráteis.

O solo da região é de planalto com resistividade elétrica média de 15.000 ohm.cm. No solo há bolsões de contaminação industrial com resistividade elétrica muito baixa.

Nos primeiros dez quilômetros a tubulação foi lançada paralelamente a um conjunto de linhas de alta tensão.

Do décimo quinto quilômetro ao vigésimo segundo ela cruza uma estrada de ferro eletrificada e se desloca paralelamente à mesma.

Nos últimos oito quilômetros a tubulação se desloca em área urbana cruzando e se dispondo paralelamente a diversas outras tubulações.

Os estudos preliminares mostraram que a tubulação estaria sujeita a corrosão pelo solo, interferência em corrente alternada, interferência em corrente contínua de estrada de eletrificada e dos sistemas de proteção catódica de outras tubulações.

Nestes estudos foi recomendado levantamento das curvas de polarização nos pontos de contaminação do solo, testes de campo e avaliação durante a proteção provisória do combate às correntes de interferência com registros de 24 horas para os potenciais de corrente contínua e alternada.

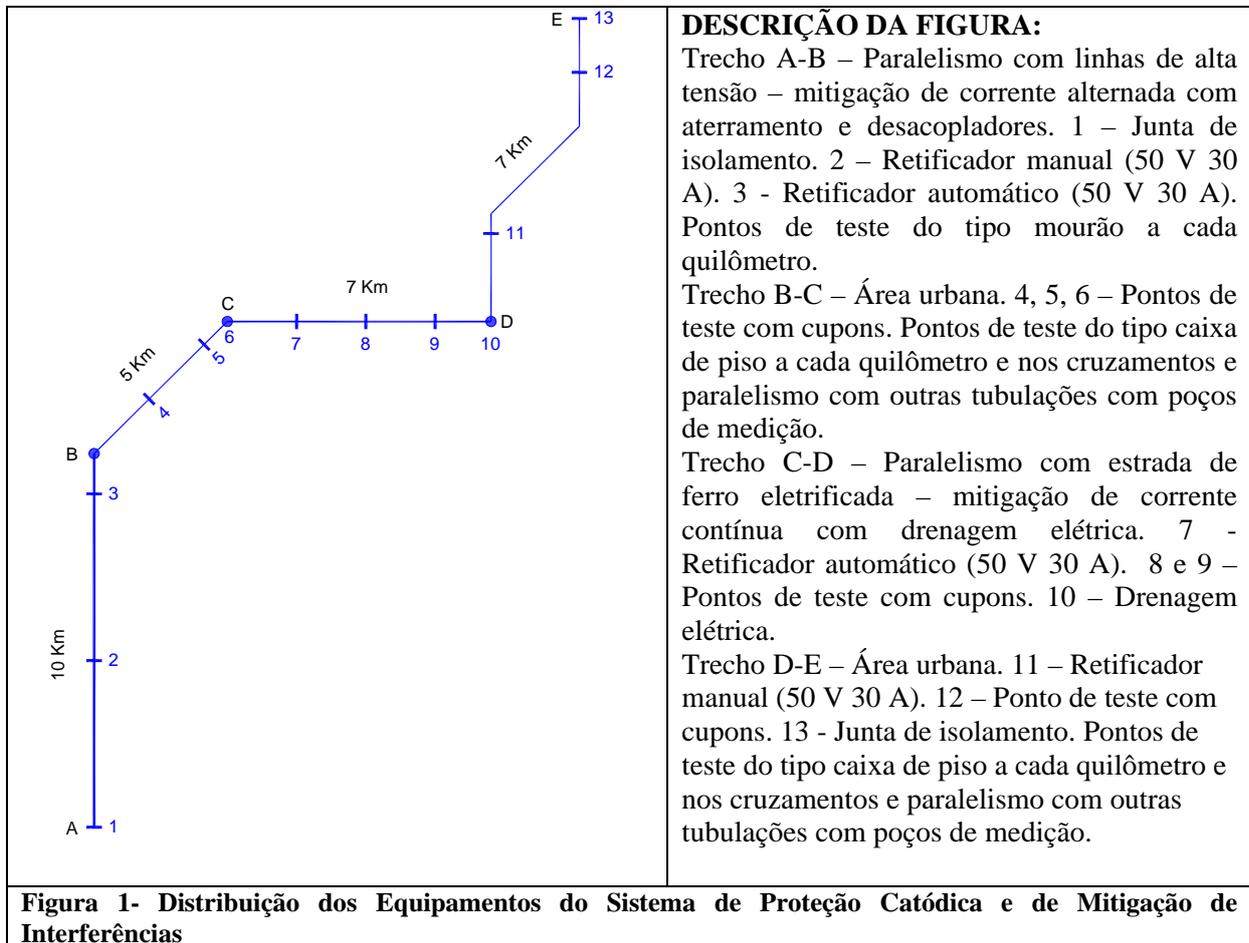
Após todos os ajustes no projeto, sendo importante frisar que um projeto desta complexidade deve necessariamente ser ajustado simultaneamente ao lançamento da tubulação.

O sistema ficou assim constituído nos aspectos principais:

- Quatro retificadores de 50 V 30 A, sendo dois manuais e dois automáticos;
- Quatro leitos de ânodos de Fe-Si-Cr;

- Aterramento do duto no trecho de paralelismo com as linhas de transmissão, devidamente desacoplados com dispositivos desacopladores para mitigar as correntes alternadas;
- Uma drenagem elétrica para mitigar as correntes contínuas da ferrovia eletrificada.

A Figura 1 mostra a constituição do sistema.



Os registros de potenciais efetuados após a energização dos retificadores mostrou que os potenciais tubo/solo oscilavam entre -1,0 V e - 2,5 V em relação à semicélula de Cu/CuSO<sub>4</sub>.

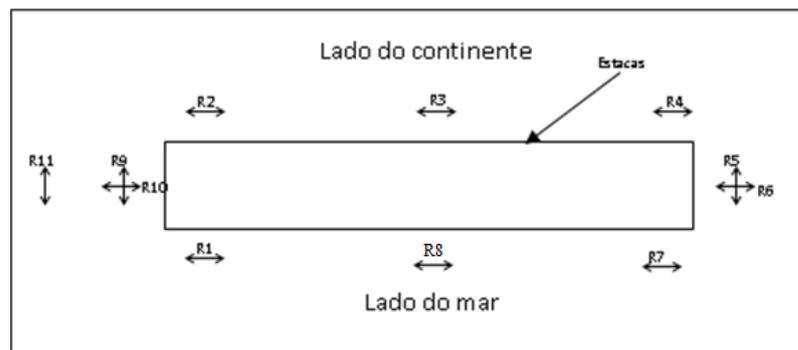
Quanto aos potenciais em corrente alternada, os registros mostraram terem-se tornado insignificantes.

### Estrutura localizada no Estado do Ceará

Trata-se da proteção catódica das estacas de contenção do aquário da cidade de Fortaleza que é um espaço em torno de oito a nove metros abaixo do nível do mar, de formato retangular, com comprimento aproximado de 200 m e largura aproximada de 25 m, construído em estacas pranchas, situado na orla marítima de Fortaleza com as seguintes características gerais: cortina de contenção com estacas pranchas, estacas tubulares e tirantes.

As estacas na parte externa e os tirantes não são revestidos. Na parte interna, onde a proteção catódica não atua, as estacas são revestidas com um esquema de pintura para atmosfera altamente agressiva.

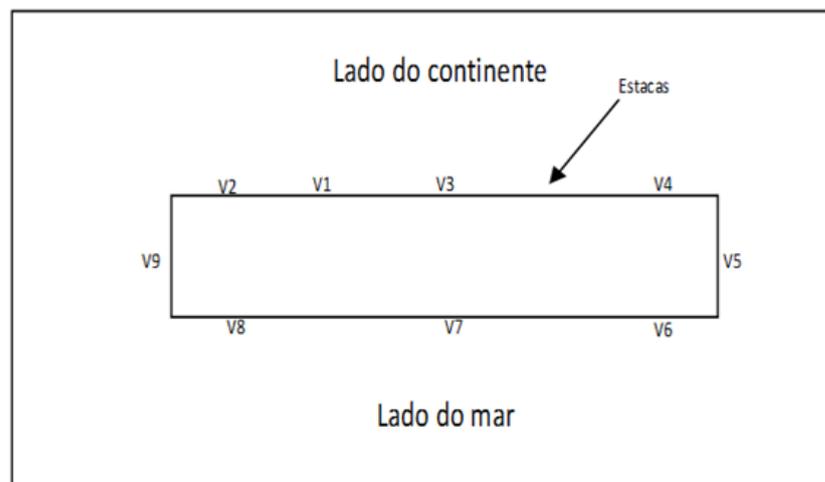
A construção fica próxima do mar, porém a resistividade elétrica varia de 1.200 ohm.cm a 80.000 ohm.cm, sendo o valor predominante de 12.000 ohm.cm e foram medidos de acordo com a Figura 2.



**Figuras 2 – Locais de medição da resistividade do solo**

Os estudos preliminares mostraram grande variação na resistividade elétrica do solo e a variação da mesma com o posicionamento do lençol freático.

Foram realizadas medições do potencial natural nos pontos indicados na Figura 3 a seguir.



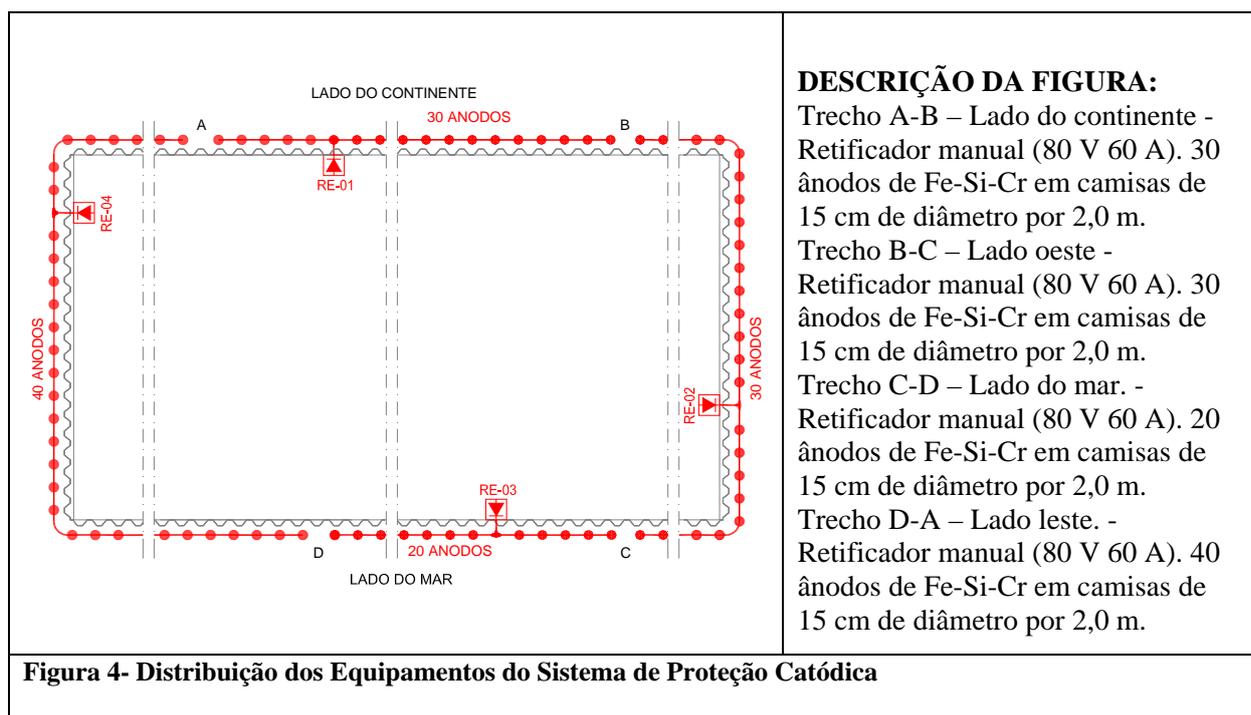
**Figura 3 – Locais de medição de potenciais estaca/solo**

**Tabela 2 – Valores de potenciais medidos em relação à semicélula de cobre/ sulfato de cobre**

PONTO DE MEDIÇÃO	POTENCIAL NATURAL ( $V_{Cu/CuSO_4}$ )
V1	-0,325
V2	-0,274
V3	-0,317
V4	-0,378
V5	-0,441
V6	-0,371
V7	-0,308
V8	-0,400
V9	-0,393

Após ajustes no projeto o sistema de proteção catódica ficou assim constituído nos seus componentes principais, como mostra a Figura 4:

- Quatro retificadores de 80 V 60 A, todos manuais;
- Quatro leitos de ânodos de Fe-Si-Cr com um total de 120 ânodos.



Após a energização e a polarização os valores de potenciais foram os mostrados na tabela 3

**Tabela 3 – Valores de Potencial após a polarização**

PONTO DE MEDIÇÃO (ver Figura 3)	POTENCIAL APÓS A POLARIZAÇÃO ( $V_{Cu/CuSO_4}$ )
V1	- 1,130
V2	- 1,250
V3	- 1,150
V4	- 1,490
V5	- 0,900
V6	- 1,020
V7	- 0,930
V8	- 0,930
V9	- 0,990

### **Análise dos Resultados Obtidos**

A experiência mostrou que a tubulação na Grande São Paulo atingiu níveis de proteção, porém com muita oscilação nos potenciais, o que é normal onde há muitas interferências em corrente contínua.

Os aterramentos foram eficientes na mitigação de corrente alternada. É fundamental que se continue acompanhando assiduamente o sistema de proteção de modo a proceder aos ajustes e correções eventualmente necessárias. É importante lembrar que as correntes de interferência são extremamente dinâmicas e mutantes.

No caso da estrutura de Fortaleza, também se atingiu o nível de proteção, porém a maior dificuldade de equalização dos potenciais residiu na variação de resistividade e a modificação da resistividade pela oscilação do lençol freático.

Em ambos os casos certamente se conseguiria proteger estas estruturas com muito menos corrente que aquelas utilizadas se elas fossem instaladas fora das grandes cidades e sem interferências e as limitações de espaço para instalação dos anodos.

Outro fato importante é que nas cidades as constantes intervenções no solo pelas diversas concessionárias de serviços públicos exige muita atenção para que os sistemas de proteção catódica não sejam danificados.

### **Conclusões**

Com base no exposto pode-se concluir:

- 1 - Os sistemas de proteção catódica são um excelente recurso pra preservação das estruturas enterradas nas grandes cidades.
- 2 – Além de proteger contra corrosão são importantes para evitar vazamentos e todos os riscos adicionais dos mesmos, no caso de tubulações.

- 3 – Os sistemas de proteção em grandes cidades são mais complexos e exigem mais experiência do projetista.
- 4 – Os projetos de estruturas enterradas em todas as grandes cidades brasileiras devem contemplar uma especial atenção com as interferências, particularmente aquelas oriundas dos sistemas eletrificados de tração em implantação na maioria delas.
- 5 – Há necessidade de constante vigilância em relação aos sistemas instalados para evitar que as intervenções no solo pelas concessionárias de serviços públicos venham danificá-los.
- 6- Uma boa prática para minimizar os problemas de interferências consiste na criação das comissões regionais de interferência, com membros dos principais atores envolvidos, tais como concessionárias de serviços públicos, operadoras de dutos, operadoras de sistemas eletrificados (corrente contínua e alternada), centros de estudo e pesquisa, dentre outros. A comissão existente em São Paulo é um bom exemplo da funcionalidade desta prática e a ABRACO pode ser a indutora da formação destas comissões.

### **Referências Bibliográficas**

---

- (1) Gentil, Vicente – Corrosão, 6<sup>a</sup>ed. LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora, 2012.
- (2) Dutra, Aldo C. e Nunes, Laerce P. – Proteção Catódica – Técnica de Combate à Corrosão – Editora Interciência, Rio de Janeiro, 5<sup>a</sup> edição, 2012.
- (3) Nunes, Laerce P. e Kriescher, Anderson T. - Dimensionamento de Sistemas de Proteção Catódica – Considerações Sobre o Fator Galvânico – COTEQ – ABRACO, Anais, 2011.
- (4) Brasil, Simone L., Kriescher, Anderson T., Machado, Leonardo - Otimização do sistema de proteção catódica de terminal de múltiplo uso através de simulação numérica”, INTERCORR 2012 – ABRACO - Salvador – BA, Maio de 2012.
- (5) Nunes, Laerce P. ; Kriescher, Anderson T. e Miranda, Luiz R.M. - Determinação de Densidades de Corrente no Dimensionamento de Sistemas de Proteção Catódica – COTEQ – ABRACO, Anais, 2013.