

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
CARLOS JOSÉ DOS REIS JUNIOR

N. CLASS.	U620.112
CUTTER	J95 a
ANO/EDIÇÃO	2013

**APLICAÇÃO E VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA PROTEÇÃO CATÓDICA EM
TORRES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Varginha

2013

CARLOS JOSÉ DOS REIS JUNIOR

**APLICAÇÃO E VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA PROTEÇÃO CATÓDICA EM
TORRES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha
2013**

Grupo Educacional UNIS

CARLOS JOSÉ DOS REIS JUNIOR

**APLICAÇÃO E VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA PROTEÇÃO CATÓDICA EM
TORRES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros.

Aprovado em / /

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

Prof.

Prof.

O.B.S.:

Dedico este trabalho a Deus, pela sabedoria e apoio dados, durante todo o período e nos momentos de dificuldade e a minha família, pelo apoio moral, paciência e incentivo nesta nova etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus professores, amigos e colegas de trabalho que colaboraram inúmeras vezes para que eu prosperasse no meu objetivo. E um agradecimento muito especial a minha família, meus pais e minha esposa Nívia que esteve sempre ao meu lado em mais esta conquista.

“Obstáculos e dificuldades fazem parte da vida. E a vida é a arte de superá-los”.

Mestre DeRose.

RESUMO

Para alguns autores a corrosão é definida como o processo inverso ao processo siderúrgico, partindo do princípio que o metal tende a retornar de forma espontânea a sua origem de minério. Para compreendermos o processo corrosivo é necessário entendermos a relação entre o material, e o meio ao qual o mesmo está inserido, (no caso, meio corrosivo), e o mecanismo do processo de corrosão. Com base nestas argumentações este projeto busca uma forma de proteger as estruturas metálicas, no caso, as torres de transmissão de energia elétrica, de forma a inibi-las da ação do processo corrosivo, em sua parte mais crítica, na fundação, onde tem-se o contato direto com solo. Segundo Sir Humphrei (século XIX), transformando a estrutura metálica em catodo, de uma célula eletroquímica, preservaria a mesma dos efeitos da corrosão e necessitaria apenas de um metal mais pobre, mais eletronegativo, o anodo para que fossem transferidos os efeitos corrosivos para o mesmo. Busca-se neste projeto a aplicação da proteção catódica utilizada para proteção de navios e tubulações enterradas para controlar ou inibir o efeito corrosivo do solo sobre a estrutura assim aumentando desta forma sua vida útil. Diante deste desafio faz-se necessário à aplicação de conceitos análise de métodos e a análise de viabilidade, e a partir deste justificar sua eficácia obtendo ganhos em economia e segurança para o sistema.

Palavras Chave: Proteção catódica. Metais. Corrosão.

ABSTRACT

For some authors corrosion is defined as the inverse of the steelmaking process, starting from the principle that the metal tends to return spontaneously to their origin ore. To understand the corrosion process is necessary to understand the relationship between the material and the environment to which it is inserted (in case corrosive environment) and engine corrosion. Based on these arguments this project seeks a way to protect metal structures, where the towers of power transmission, in order to inhibit them from the action of the corrosion process in its most critical in the foundation, which has direct contact with soil. According to Sir Humphrei (nineteenth century), transforming the metal structure on the cathode of an electrochemical cell to preserve it from the effects of corrosion and need just one more metal poor more electronegative, the anode to the corrosive effects were transferred to the same. This project aims the application of cathodic protection used for protecting ships and buried pipes to control or inhibit the corrosive effect on the structure by soil and increasing its lifetime. According this challenge makes is necessary the application of concepts analysis methods and feasibility analysis, and from this to justify getting their efficiency gains in economy and security to the system.

Keywords: Cathodic Protection. Metals. Corrosion.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 A PROTEÇÃO CATÓDICA	11
2.1 Desenvolvimento histórico	11
2.2 Princípio básico da proteção catódica	11
2.3 Tipos de proteção catódica	13
2.3.1 Proteção catódica galvânica	13
2.3.2 Proteção catódica por corrente impressa	14
3 METAIS	16
3.1 Potencial estruturas/eletrolito	16
3.2 Avaliação do nível de corrosão das estruturas metálicas enterradas	17
4 CORROSÃO	19
4.1 Meios corrosivos	19
4.1.1 Heterogeneidade do solo	19
4.2 Pilhas de corrosão	20
4.3 Tipos de corrosão onde a proteção catódica atua	21
4.4 Outras formas de prevenção e controle	22
5 A PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA E AS FUNDAÇÕES DAS TORRES DE TRANSMISSÃO	23
6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27
ANEXO	28

1 INTRODUÇÃO

Ainda hoje, um dos grandes desafios é sem dúvida o combate a corrosão, os trabalhos relacionados ao processo corrosivo de metais em contato com solo, ainda não tem resultados conclusivos, devido ao fato do grande numero de variáveis que interferem neste processo. A resistividade elétrica do solo ou da água é um dos fatores fundamentais no processo, sendo que quanto mais baixo seu valor, maior é a facilidade de formação de pilhas de corrosão, entre outras palavras, mais severo é o processo corrosivo. Diante desta realidade, como controlar ou proteger a ação do meio, sobre a estrutura metálica, de maneira viável, e assim reduzindo o custo de manutenção das mesmas? Sabe-se que a proteção catódica consiste na transformação da estrutura metálica, para proteger o catodo de uma célula eletroquímica ou eletrolítica, assim combatendo a corrosão.

Diante destas colocações, objetiva se neste projeto apresentar um levantamento bibliográfico onde demonstra-se que a proteção catódica é uma aplicação viável e funcional na proteção de estruturas metálicas como torres de transmissão de energia elétrica, analisando pontos importantes e relevantes de sua aplicação. Almeja se neste projeto uma analogia, entre a aplicação da mesma metodologia, utilizada para proteção das estruturas metálicas de navios e oleodutos em estruturas metálicas como torres transmissão de energia elétrica, mais precisamente em sua interface com solo onde se situa o ponto de maior conflito. A relevância deste projeto se deve devido economia em manutenção, nesta estrutura metálica, fundamental para o sistema de potencia. Justifica-se a aplicação da proteção catódica para fins de prevenção e controle, da corrosão, e este processo, para esta finalidade, torna se um custo mais barato do que a manutenção corretiva, a fim de aumentar a vida útil dessas estruturas.

Para comprovar este, busca-se dentre os quais definições e conceitos de proteção catódica, metais, pilhas de corrosão e meios corrosivos e corrosão. Analisa-se possíveis aplicações dos tipos de proteção catódica, a galvânica e o método por corrente impressa e analogamente tenta se através de análise dentro deste, contexto, provar que um a possível solução, e sem mais, conclui se com uma análise de custo beneficio para determinar sua viabilidade.

2 A PROTEÇÃO CATÓDICA

A proteção catódica, segundo Dutra (2006), é a técnica que, baseada nos princípios da eletroquímica, transforma a estrutura metálica que se deseja proteger em uma pilha artificial, evitando, assim, que a estrutura se deteriore.

É um processo de proteção que consiste na utilização de correntes elétricas promovidas seja por fontes externas ou processos eletroquímicos, que transformam as regiões anódicas em catódicas, ou seja, protegendo a estrutura contra corrosão.

2.1 Desenvolvimento histórico

A história da proteção catódica inicia-se no século XIX, quando a eletroquímica dava também seus primeiros passos, principalmente na Inglaterra, onde particularmente Sir Humphrey Davy realizou estudos e experiências no campo da eletroquímica com o objetivo de solucionar o problema de corrosão na chaparia de cobre que revestia o casco de madeira dos navios de guerra de sua Majestade. Ele demonstrou a hipótese que as mudanças químicas e elétricas podem ser idênticas, ou dependerem da mesma propriedade da matéria, e que a atração química pode ser ampliada, modificada ou destruída, por mudanças no estado elétrico dos corpos, que as substâncias só se combinaram quando estiverem em diferentes estados elétricos. A partir desta, o cobre que é um metal ligeiramente positivo na escala eletroquímica poderia ser ter a ação corrosiva anulada se tornando ligeiramente negativa quando em contato com água do mar. No Brasil o emprego da proteção catódica em escala industrial data da década de 60 com o desenvolvimento da Petrobrás, para proteção dos seus oleodutos submarinos e instalações portuárias, estendendo-se depois a instalações terrestres em suma oleodutos e gaseodutos (DUTRA, 2006, p.57 e 58).

2.2 Princípios básicos da proteção catódica

Para uma melhor compreensão da descoberta de Sir Humphrey Davy, analisa-se a relação entre, anodo, catodo e o meio, no contexto o eletrólito, onde evidencia-se o princípio da proteção catódica transformando a estrutura em catodo, e um metal mais pobre em um anodo, que será ligado a estrutura metálica e sofrerá os efeitos corrosivos. Segundo Gomes (1995) quando uma instalação metálica encontra-se enterrada ou submersa, existe sempre um fluxo de corrente, através do eletrólito, desde a área anódica até a área catódica, sendo que o

retorno da corrente se processa por intermédio do circuito externo, que no caso das tubulações enterradas é constituído pelos próprios tubos. Quando a corrente deixa o anodo ou área anódica e penetra no eletrólito, produz uma reação eletroquímica na sua 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. 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, fica fácil concluir que, se conseguirmos fazer com que 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”. Isso pode ser conseguido provendo-se a 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. Quando a estrutura ficar totalmente polarizada, a corrosão cessará. Na realidade, a corrosão não é eliminada, mas sim, transferida para um material metálico de custo baixo que é usado como anodo, enquanto a valiosa instalação metálica, que pode ser uma tubulação, um casco de navio, uma estaca cravada no mar, uma plataforma de petróleo, a base de um tanque de armazenamento, ou a armadura de aço de uma obra de concreto, fica protegida (GOMES, 1995, p. 22 e 23).

Figura 1: Célula de Corrosão Eletroquímica.



Fonte: UNIVERCEMIG, 2007.

Anodo: Sofre corrosão, oxida.

Eletrólito: Condutor geralmente líquido contém íons que transporta a corrente elétrica.

Catodo: Eletrodo que as cargas negativas dos elétrons provocam redução.

Circuito metálico: Ligação metálica entre o anodo e o catodo por onde escoam os elétrons, no sentido do anodo para o catodo.

Quadro 1: Série galvânica prática.

Metal	Potencial (volts)
Magnésio comercialmente puro	-1,75
Liga de magnésio (6% Al, 3% Zn, 0,15% Mn)	-1,60
Zinco	-1,10
Liga de alumínio (5% Zn)	-1,05
Alumínio comercialmente puro	-0,80
Aço (limpo)	-0,50 a -0,80
Aço enferrujado	-0,20 a -0,50
Ferro fundido (não grafitizado)	-0,50
Chumbo	-0,50
Aço em concreto	-0,20
Cobre, bronze, latão	-0,20
Ferro fundido com alto teor de silício	-0,20
Carbono, grafite, coque	+0,30

Fonte: GOMES, 1995.

2.3 Tipos de proteção catódica.

Existem dois processos pelos quais pode se aplicar a proteção catódica:

- a) Proteção catódica galvânica.
- b) Proteção catódica por corrente impressa.

2.3.1 Proteção catódica galvânica.

O processo de proteção galvânica (ou por anodo de sacrifício) é o mais utilizado na proteção de navios e estruturas enterradas ou submersas e não pode ser aplicado em estruturas aéreas em face da necessidade de um eletrólito contínuo, o que não se consegue na atmosfera. Geralmente são empregadas como anodos materiais como ligas de Zn, Mg e de Al por estes apresentarem maior diferença de potencial em relação a materiais metálicos, principalmente o aço, e por apresentarem baixíssimas características de polarização anódica.

O sistema de proteção galvânica é aquele que utiliza uma força eletromotriz, de natureza galvânica, para imprimir á corrente de proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz resulta da diferença entre o potencial natural do anodo e o potencial natural da estrutura que se deseja proteger. É uma grandeza que depende das características do anodo, do material que compõe a estrutura que se deseja proteger e o próprio eletrólito. É uma diferença de potencial

relativamente pequena, o que traduz uma limitação no seu emprego aplicando se somente a meios de resistividade elétrica da ordem de, no máximo 6.000 ohm.cm. Ao se fazer a ligação do anodo com a estrutura, estando ambos em contato simultâneo com o eletrólito, produz-se uma pilha na qual a corrente que circula resulta da dissolução eletroquímica do anodo.

O anodo galvânico representa certa quantidade de energia acumulada, a qual será liberada paulatinamente, proporcionando uma corrente elétrica que exercerá uma ação protetora sobre a superfície da estrutura (catodo).

A circulação desta corrente dará início a um processo de polarização, fazendo com que o potencial de ambos os componentes – isto é, do anodo e do catodo, se desloquem em sentidos convergentes. Assim o anodo sofrerá uma polarização anódica, a qual, por princípio, deve ser muito pequena, e a estrutura (catodo) sofrerá uma acentuada polarização catódica, de modo a atingir o potencial de imunidade, ou seja, de estabilidade termodinâmica do metal, ou liga no meio considerado. (DUTRA, 2006, p. 102).

De acordo com Gomes, seguem as devidas características do sistema de proteção galvânica.

- a) Indicado somente para eletrólitos de baixa resistividade elétrica;
- b) Indicado para pequenas instalações;
- c) Contra-indicado para estruturas sujeitas a fortes correntes de interferência;
- d) Não possibilita regulagem, ou aceita regulagem precária;
- e) É menos sujeita a interrupções de funcionamento;
- f) Pode necessitar de substituição periódica dos anodos;
- g) É aplicado para a proteção de plataformas de petróleo e tubulações submersas no mar; (GOMES, 1995, p. 51).

2.3.2 Proteção catódica por corrente impressa.

O processo de proteção catódica por corrente impressa é o método aplicado a estruturas metálicas situadas em solos ou eletrólitos de vários tipos de resistividade, ela é aplicada onde se exige maiores correntes, portanto, em estruturas de média para grande porte. Trata-se de um sistema mais compacto e econômico, quando se necessita de correntes altas para proteção. Faz-se uso de anodos inertes, como anodos de Grafite, Ferro-Silício, Ferro-Silício-Cromo, Magnetita, e outros.

O sistema de proteção catódica por corrente impressa é aquele que utiliza uma força eletromotriz, proveniente de uma fonte externa de corrente contínua, para imprimir a corrente necessária a proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz pode provir de baterias convencionais, baterias solares, termogeradores, conjuntos motor/gerador ou retificadores de corrente. Os retificadores constituem a fonte mais frequentemente utilizada através dos mesmos, retifica-se uma corrente alternada, para injetá-la no circuito de proteção.

Como a diferença de potencial na saída da fonte pode ser estipulados em valores baixos ou elevados, a proteção catódica por corrente impressa aplica-se a estruturas situadas em eletrólitos de baixa, média e alto resistividade. Também é aplicada onde se exige maiores correntes, por tanto, estruturas de médio para grande porte. (DUTRA, 2006, p.115).

De acordo com Gomes, seguem as características do sistema de proteção catódica por corrente impressa.

- a) Indicado para qualquer eletrólito (não há limitação quanto à resistividade elétrica);
- b) Indicado para instalações de qualquer porte;
- c) Indicado para instalações sujeitas a correntes de interferência;
- d) Possibilita ampla regulagem;
- e) É mais sujeito a interrupções de funcionamento;
- f) Necessita de inspeção e manutenção dos retificadores;
- g) Custo inicial em geral maior que o do sistema galvânico, dependendo da instalação; (GOMES, 1995, p. 51).

Diante das características de cada proteção é possível evidenciar que a proteção galvânica é mais eficiente, utilizada em meios líquidos, por exemplo, no mar para proteção de navios e outros e já a proteção catódica por corrente impressa é mais aplicada em solo, na proteção de estruturas enterradas, sua fonte geradora além de poder ser uma fonte alternativa, poderá ter a potencia que se deseja, bem como a força eletromotriz necessária, em função das condições de resistividade do eletrólito.

3 METAIS

O aço é nos tempos atuais, e foi durante todo o século, o principal material de construção industrial (GENTIL, 1987). Um metal real, é constituído quase sempre de uma liga – “um metal-base misturado com outros metais e com elemento não metálico” – e por causa dos processos de sua obtenção, contem impurezas, inclusões. Suas propriedades podem ser alteradas significativamente quando se varia a sua composição. São chamados aços as ligas que contém de 0 a 2% de carbono e ferro fundido de 2 a 6,7%. Além disto, podem receber adições de outros elementos para formar diferentes ligas a fim de comunicar-lhes propriedades convenientes, e neste caso são chamados de aços especiais, aços-ligas e ferros fundidos especiais (SILVA, 1981, p.19).

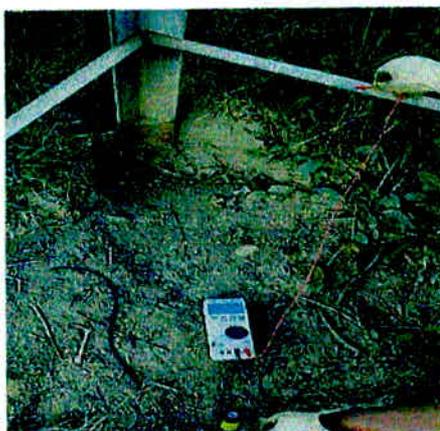
3.1 Potenciais estrutura/eletrólito

O fator de grande importância e determinante para a verificação do processo corrosivo é a medição da diferença de potencial entre estrutura e solo, pois este parâmetro é que torna possível a avaliação do potencial de corrosão da estrutura.

Os potenciais estrutura/eletrólito significam o potencial elétrico existente entre a estrutura metálica e o meio que a envolve. A medição desse potencial é feita, no campo, por intermédio de um voltímetro com alta resistência interna (100.000 ohm/volt, no mínimo), de tal maneira que o terminal negativo seja ligado à estrutura metálica que se deseja testar e o terminal positivo a um eletrodo de referência, normalmente uma meia-célula de cobre/sulfato de cobre (para solos), colocado em contato com o meio. As medidas dos potenciais fornecem informações bastante valiosas para o engenheiro de corrosão, incluindo, principalmente, a avaliação das condições de corrosividade do solo ou da água a localização dos chamados *hot spots* (pontos de corrosão severa) para o caso das estruturas nuas, a localização de áreas sujeitas à corrosão eletrolítica causada por corrente de fuga e as condições de corrosão ou de proteção catódica de qualquer estrutura metálica testada. (GOMES, 1995, p. 34).

A seguir apresenta-se uma figura onde se retrata a medição do potencial estrutura/eletrólito, onde a medição é feita de maneira simples, com um voltímetro, e um eletrodo de referência, no caso, uma célula de cobre/sulfato de cobre, em contato com solo. A partir desta medição esses valores mensurados serão de suma importância para avaliação da existência ou não processo de corrosão.

Figura 2: Foto Medição de Potencial de Corrosão.



Fonte: UNIVERCEMIG, 2011.

3.2 Avaliação do nível de corrosão das estruturas metálicas enterradas

Para a instalação deste sistema de proteção catódica, deve-se primeiramente avaliar o nível de corrosão das fundações metálicas através da medição do potencial de corrosão. Para tanto deve-se utilizar um multímetro (voltímetro) e uma célula de referência do tipo cobre-sulfato de cobre. Esta medição indica o potencial elétrico existente entre uma célula de referência (cobre-sulfato de cobre) e a estrutura metálica a ser protegida (fundação metálica), através de um eletrólito que é o próprio solo (GOMES, 1995, p 52).

Quadro 2 :Valores de potencial de corrosão.

Potencial de Corrosão (P_c)	Interpretação do resultado da medição
$P_c \leq -1,10 \text{ V}$	A estrutura de aço está intacta, com galvanização nova, não é necessária a aplicação de proteção catódica.
$-1,10 \text{ V} < P_c < -0,85 \text{ V}$	A camada de galvanização da estrutura apresenta alguma perda de material, entretanto a estrutura de aço não apresenta corrosão identificável.
$-0,85 \text{ V} < P_c < -0,50 \text{ V}$	A camada de galvanização da estrutura apresenta perda acentuada de material, a estrutura de aço já apresenta corrosão inicial.
$-0,50 \text{ V} < P_c < -0,25 \text{ V}$	Perda completa da camada de galvanização, nível de corrosão médio a intenso da estrutura de aço enterrada.
$P_c > -0,25 \text{ V}$	Perda acentuada de material da estrutura de aço enterrada, neste caso não se pode aplicar proteção catódica devido a possibilidade de já haver comprometimento estrutural da fundação a ser protegida

Fonte: UNIVERCEMIG, 2011.

As fundações estarão protegidas se os valores encontrados forem iguais ou menores do que -1,10V. Observar o sinal indicado no multímetro (se o sinal for positivo o sistema estará invertido, fazendo com que a fundação se torne anódica e o anodo catódico). Aconselha-se que o potencial permaneça em torno de -1,50V. Segundo as Normas SIS 055900 e ISO 8.501-1: Graus de Oxidação em superfícies de aços, segue características de cada grau de oxidação na superfície dos aços:

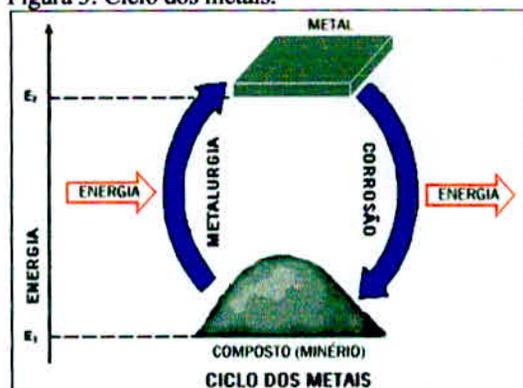
- a) Grau A: Superfície de aço com a carepa de laminação praticamente intacta em toda a superfície e sem corrosão. Representa a superfície de aço recentemente laminada.
- b) Grau B: Superfície de aço com princípio de corrosão, quando a carepa de laminação começa a desprender-se.
- c) Grau C: Superfície de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou poderá ser removida por raspagem ou jateamento, desde que não tenha formado ainda cavidades muito visíveis (pites) em grande escala.
- d) Grau D: Superfície de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão com formação de cavidades visíveis em grande escala.

4 CORROSÃO

Corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais. A corrosão em geral é um processo espontâneo, esta constantemente transformando materiais metálicos de modo que sua durabilidade e desempenho deixam de satisfazer os fins que se destinam (GENTIL, 1987, p. 1).

Para compreendermos melhor as definições de corrosão, apresentaremos abaixo uma figura onde se ilustra o ciclo dos metais, onde o minério quando recebe energia para transforma-se no metal, por processo siderúrgico, o mesmo de posse desta energia, fica mais suscetível a reações químicas ou eletroquímicas, onde nas quais ao longo do tempo, o mesmo vai se despreendendo essa energia e retornando a seu estado inicial de minério gradativamente.

Figura 3: Ciclo dos metais.



Fonte: (EVANGELISTA, 1984 apud DUTRA; NUNES, 2006, p.4).

4.1 Meios corrosivos

O sistema heterogêneo formado pelo metal e o meio fluido que o circunda são os dois fatores fundamentais a serem considerados no estudo da corrosão.

4.1.1 Heterogeneidade do solo

Os solos possuem heterogeneidades que, em conjunto com as variações (resistividade elétrica, grau de aeração, composição química, grau de umidade e outras) dão origem, também, a pilhas de corrosão nas superfícies dos materiais neles enterrados. (GOMES, 1995, p.16).

As características de um solo são determinadas por uma série de fatores entre os quais podem ser citados:

- a) Origem geológica e localização;
- b) Condições climáticas durante a sua formação;
- c) Condições climáticas durante a sua existência;
- d) Atividade vegetal e animal;

Classificar o solo, sob o ponto de vista da corrosão, em termos destas características é quase impossível. No entanto, busca-se apresentar uma classificação que seja pronunciada no comportamento dos metais enterrados nos solos. Tal classificação pode ser em: propriedades físicas, propriedades químicas, propriedades biológicas, granulometria e textura de solos (GOMES, 1995. p. 19).

4.2 Pilhas de corrosão

Quando se tem dois metais em contato com um dado eletrólito, por exemplo, água do mar, cada metal desenvolve seu próprio potencial, de acordo com as reações reversíveis, e que não é o potencial padrão, esse é denominado potencial de corrosão. O Aparecimento destas pilhas de corrosão esta diretamente ligado a fatores pertinentes ao metal e fatores inerentes ao eletrólito. Todos esses fatores traduzem heterogeneidades no sistema. (DUTRA, 2006 p. 13 - 18).

Com base nestas colocações, ainda podemos dizer que os fatores responsáveis pelo aparecimento das pilhas podem agir isoladamente ou em combinação uns com os outros aumentando a velocidade do ataque corrosivo. Dentre as pilhas de corrosão podemos citar:

- a) Pilhas relacionadas com as heterogeneidades do meio. (eletrólito);
- b) Pilhas relacionadas com a heterogeneidade do metal;

Dentre as principais heterogeneidades do eletrólito, responsável por estas pilhas são: variações na concentração; variações no grau de aeração; variações na temperatura; variações no grau de agitação; variações na resistividade elétrica.

Já nas heterogeneidades relacionadas a superfície do material, capazes de gerar pilhas de corrosão, temos: variação na composição química; presença de inclusões; concentração de tensões; variação na temperatura; contorno de grãos; variações no tamanho do grão (DUTRA, 2006 p.13 á 18).

4.3 Tipos de Corrosão onde a Proteção Catódica atua

Os tipos de corrosão de natureza eletroquímica recebem designações diferentes, de acordo com as condições particulares em que se processam, com a natureza do meio corrosivo, com o tipo de metais e até mesmo com o aspecto da corrosão (DUTRA, 2006, p. 13 - 18).

Quadro 3: Onde a proteção catódica atua.

Tipos de Corrosão	Aplicação da proteção Catódica
Corrosão Galvânica	SIM
Corrosão em Frestas	SIM
Corrosão Atmosférica	Não se aplica
Corrosão pelo Solo	SIM
Corrosão pela Agua	SIM
Corrosão por Bactérias ou Microbiológica	SIM
Corrosão Eletrolítica	SIM
Corrosão Intergranular	Não se aplica
Corrosão por compostos de Enxofre	SIM
Corrosão Grafítica	SIM
Desinfecção	SIM
Corrosão em Concreto	SIM
Corrosão por Fadiga	SIM
Corrosão sob tensão	SIM

Fonte: o Autor.

Segundo Dutra (2006) a proteção catódica é indicada para alguns dos tipos de corrosões citadas acima, aplicada sozinha ou em conjunto com outros métodos. Mas o fato é que a proteção catódica aplicada em estruturas de concreto armado enterradas ou submersas é ainda pouco frequente no Brasil, devido a dificuldades, tais como necessidade de se interligar toda a armadura do concreto, de modo a funcionar como um negativo único e a possibilidade de fraturas no concreto, devido aos esforços gerados pela pressão parcial do hidrogênio liberado no catodo, quando submetido a potenciais muito negativos. Outro ponto a ser considerado é a não inclusão da metodologia da proteção catódica para uso na corrosão química e em altas temperaturas devido ausência do eletrólito, e a metodologia baseia se em controlar ou anular a interação química entre o metal e o meio corrosivo.

4.4 Outras formas de prevenção e controle

Coexistem hoje várias formas de proteger as estruturas, sendo as mesmas as mais variáveis possíveis, podendo ser aplicadas independentes ou simultâneas. Na busca da proteção mais adequada, vários fatores são levados em consideração na escolha da melhor tecnologia. Para controlar e prevenir a corrosão dispõe-se de sete maneiras diferentes: são baseadas no projeto especificação e na escolha dos materiais e na proteção e no controle das variáveis da corrosão. São elas:

- a) Projeto, especificação e processo de construção;
- b) Modificação do meio corrosivo;
- c) Emprego de inibidores;
- d) Purificação de metais e adição de elementos-liga;
- e) Emprego da proteção catódica;
- f) Emprego da proteção anódica;
- g) Aplicação de revestimentos protetores;

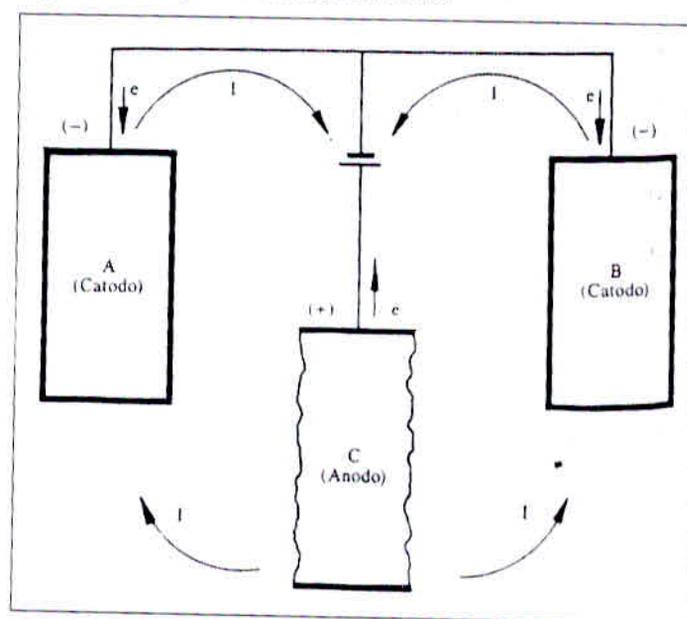
Estes processos podem ser usados simultaneamente em um dado equipamento.
(GOMES, 1981 pag. 24)

5 A PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA E AS TORRES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como evidenciamos anteriormente o processo de proteção catódica é o mais indicado para a proteção das torres de linha de transmissão. Um ponto importante a ser comentado é a fonte de alimentação, geralmente em dutos enterrados é utilizado um transformador de corrente alternada como fonte, sendo esta retificada e regulada a corrente de acordo com a necessidade. Já em se tratando de torres de transmissão, não existe uma fonte de energia elétrica ao longo da linha de transmissão em toda estrutura, sendo necessária a instalação de uma fonte alternativa de energia geralmente composta de painel fotovoltaico, bateria selada, caixa de fixação e proteção do conjunto e ligações elétricas devido à necessidade de um processo constante e ininterrupto. Outro ponto relevante é o leito de anodos para dispersão da corrente no eletrólito constitui se, de um modo geral de anodos inertes instalado numa configuração apropriada ao tipo de sistema.

É de suma importância que a mesma seja instalada nas situações onde ainda não haja comprometimento estrutural da fundação a ser protegida, já que o princípio de funcionamento deste Sistema é o de equilíbrio energético com estabilização do processo corrosivo e não a reposição de material nas peças metálicas. Abaixo segue figura demonstrando o fluxo de corrente entre anodo e catodo, onde evidenciamos a corrosão do anodo.

Figura 4: Proteção Catódica da estrutura.

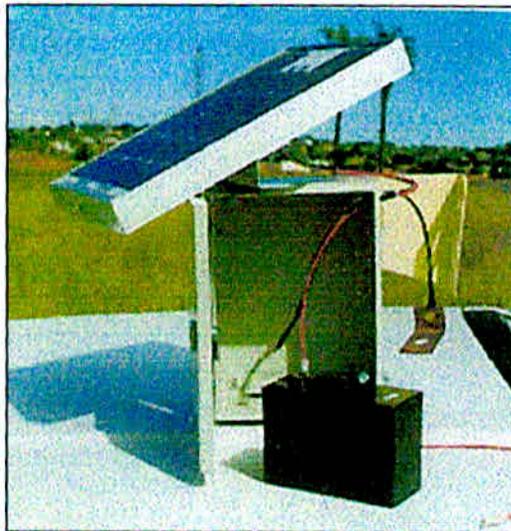


Fonte: UNIVERCEMIG, 2011.

As *vantagens* para a aplicação do método por corrente impressa são:

- a) Possibilidade de fornecer maiores quantidades de corrente às estruturas;
- b) Possibilidade de controlar as quantidades de corrente fornecidas;
- c) Possibilidade de ser aplicado em qualquer eletrólito, mesmo naqueles de elevada resistividade elétrica;
- d) Possibilidade de ser aplicado, com eficácia, para a proteção de estruturas nuas ou pobremente revestidas;
- e) Possibilidade de ser aplicado, com economia, para a proteção de instalações metálicas de grande porte.

Figura 5: Painel fotovoltaico e Bateria.



Fonte: UNIVERCEMIG,2011.

Tecnologia: Painel Solar Fotovoltaico com Bateria

- a) Painel solar fotovoltaico;
- b) Bateria 12 Vcc;
- c) Cabos isolados;
- d) Anodo de sacrifício;

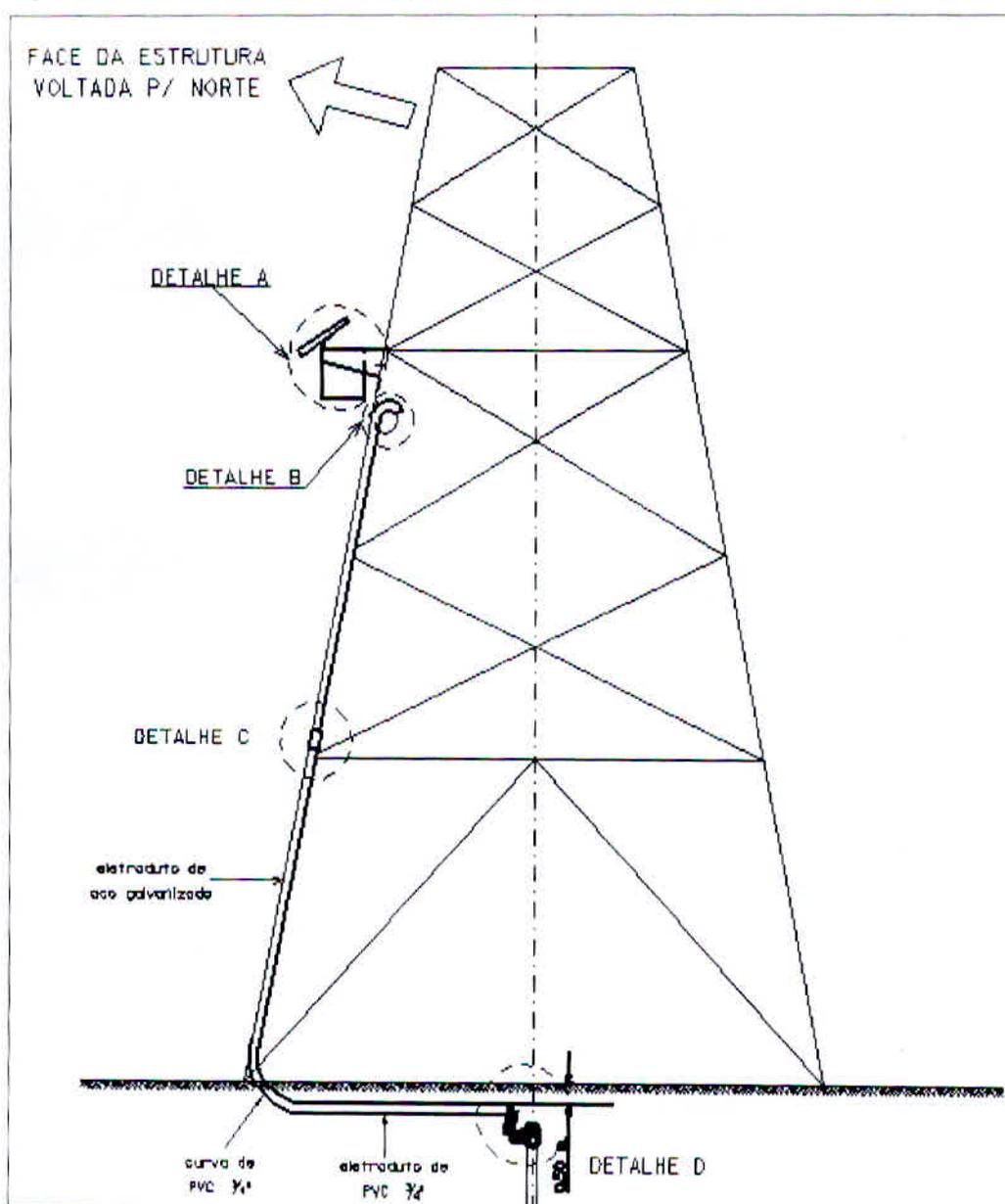
As vantagens deste processo são: o baixo custo benefício (fonte isolada) e a geração primária de energia na forma de corrente contínua eliminando a necessidade retificação.

Como já descrito anteriormente o processo proteção catódica por corrente impressa é um processo mais compacto e econômico, o custo de um projeto leva em considerações várias informações como número de estruturas a serem protegidas, análise de solo, dos locais onde estão situadas as estruturas, qual tipo equipamento a ser utilizado, tipo de fonte e outras. O

custo do material, mais a mão de obra para instalação, de uma estrutura é em torno de 10% do custo de reparação ou uma nova fundação, variando de acordo com tipo de estrutura, com fornecedor, com as especificidades de cada região, projeto e outros. Sua vida útil é de aproximadamente de 10 anos, com periodicidade de inspeção de 02 anos, variando de acordo com a necessidade da empresa e equipamento.

Logo, independente do prazo para cada 100 estruturas que utilizam esse sistema atendendo completamente as expectativas, teríamos uma economia em torno de 90% num mesmo dado período. É preciso deixar claro, que não estão inclusas as despesas com projeto e manutenção dos componentes em si.

Figura 6: desenho técnico da aplicação da proteção na estrutura.



Fonte: UNIVERCEMIG, 2009

6 CONCLUSÃO

A utilização da proteção catódica para proteção de estruturas metálicas é um processo complexo, devido ao fato de ser grande o número de variáveis que interferem no processo.

Do ponto de vista econômico é um processo viável, pois partimos do princípio que para este contexto, o valor da manutenção corretiva é mais alto do que o valor gasto na manutenção preventiva.

É viável com relação ao tempo, analisando o tempo e a velocidade de corrosão, logo se a transformação da estrutura em catodo for satisfatória presume-se que os efeitos corrosivos sobre a estrutura estariam inibidos ou controlados, portanto haveria um ganho de vida útil adequado.

É um processo que pode ser utilizado isoladamente ou em conjunto com outros processos como revestimentos, pinturas anticorrosivas e outros. Normalmente em conjunto com outras tecnologias é possível atingir uma eficiência muito superior de proteção.

Um dos pontos negativos é que este processo necessita de um acompanhamento, (inspeção), e a partir deste, pode-se gerar manutenções, de tempos em tempos, de acordo com a necessidade do sistema, local, possível deterioração do painel, falha na bateria, furto dos cabos e outros. Com isso podendo aumentar e muito o custo da manutenção do sistema e uma consequência pior, que refletiria também em um aumento da velocidade da corrosão.

Em locais onde a proteção catódica por sistema de corrente impressa não atende pode ser optativo a utilização do processo por corrente galvânica em conjunto com outras tecnologias também. É importante ressaltar que é um processo para ser aplicado onde a estrutura não está comprometida, no caso estruturas novas ou reformadas, partindo do princípio que esse sistema não repõe a perda de massa.

Outra vulnerabilidade do sistema é a modificação do meio através da ação de terceiros, e mudanças climáticas. Com relação a terceiros podemos ressaltar na lavoura, na criação de gado e outros, através da utilização de adubos defensivos agrícolas, já nas mudanças climáticas, podemos citar as chuvas ácidas, desmatamento, através dos anos isso pode ou não afetar o meio, aumentando ou diminuindo o processo corrosivo. Existe ainda, a análise com relação ao custo, em comparação a outras tecnologias, onde não poderíamos deixar de ressaltar que existem vários outros processos, que estão em evolução sendo alguns deles a pintura anticorrosiva, o uso de revestimentos e outros que, as vezes, possuem um custo mais baixo que o processo de proteção catódica.

REFERÊNCIAS

DUTRA, Aldo Cordeiro; NUNES, Laerce de Paula. **Proteção Catódica: Técnicas de Combate à Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

GENTIL, V. **Corrosão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

GOMES, Luiz Paulo. **Sistemas Proteção Catódica**. 1995. Disponível em: <http://www.ebah.com.br>. Acesso em: 07/03/2013.

NORMAS SIS 055900 e ISO 8.501-1; Graus de oxidação em superfícies de aço. Disponível em: <http://www.ebah.com.br>. Acesso em: 07/03/2013

NORMA NBR 6181; Classificação dos meios corrosivos. Disponível em: <http://www.ebah.com.br>. Acesso em: 06/05/2013

SILVA, Paulo Furtado da. **Introdução à Corrosão e Proteção das Superfícies Metálicas**. Belo Horizonte: Imprensa Universitária, 1981.

UNIVERCEMIG. Disponível em: <http://www2.cemig.com.br/univercemig>. Acesso em 06/06/2013.

