

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E INFRA-ESTRUTURA
HIDRÁULICA

JOSÉ ARIMATEIA CAVALCANTE DE SOUSA

ESTUDO TEÓRICO DA PROTEÇÃO CATÓDICA DE ESTRUTURA METÁLICA
FLUTUANTE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA.
ESTUDO DE CASO: AÇUDE GAVIÃO

FORTALEZA-CE
2007

JOSÉ ARIMATEIA CAVALCANTE DE SOUSA

ESTUDO TEÓRICO DA PROTEÇÃO CATÓDICA DE ESTRUTURA METÁLICA
FLUTUANTE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA.
ESTUDO DE CASO: AÇUDE GAVIÃO

Monografia apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Especialista em Engenharia Civil, área de Gestão dos Recursos Hídricos e Infra-Estrutura Hidráulica, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, em cuja biblioteca de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental encontra-se uma cópia à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas da ética científica.

Monografia defendida e aprovada em 13/12/2007 pela banca julgadora:

Profº. M.Sc. Francisco das Chagas Neto (Orientador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

Profº. Dra. Ticiano Marinho de Carvalho Studart

Universidade Federal do Ceará – UFC

Profº. Dr. João Kennedy de Araujo

Universidade Federal do Ceará – UFC

JOSÉ ARIMATEIA CAVALCANTE DE SOUSA

ESTUDO TEÓRICO DA PROTEÇÃO CATÓDICA DE ESTRUTURA METÁLICA
FLUTUANTE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA.
ESTUDO DE CASO: AÇUDE GAVIÃO

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de Gestão dos Recursos Hídricos e Infra-Estrutura Hidráulica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof^o. M.Sc. Francisco das Chagas Neto.

FORTALEZA-CE

2007

AGRADECIMENTOS

A minha família, pela orientação cristã, ética e moral.

A minha esposa pelo apoio e confiança depositada.

Agradeço aos Colegas e amigos Cogerianos M.Sc. Adriano lima Ribeiro, Eng. José Almir Franco de Sousa Filho e Dr. Alexandre de Sousa Fontenelle pelo apoio dado.

Agradeço ao orientador Prof^o. M.Sc. Francisco das Chagas Neto.

Aos professores do curso de pós-graduação pelos conhecimentos adquiridos.

Agradeço a Prof^a. Dra. Ticiania Marinho de Carvalho Studart.

E a todos que acompanharam o processo de criação desta dissertação.

RECONHECIMENTO

Reconheço o inestimável apoio dado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH e da Secretária de Recursos Hídricos - SRH, na consecução deste trabalho. Reconheço também a importância dada pela Companhia ao desenvolvimento tecnológico e à capacitação de seus recursos humanos, bem como congratulo sua administração, em todos os níveis, pela visão de futuro que possui.

SUMÁRIO

GLOSÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE GRÁFICOS	iii
LISTA DE FÓRMULAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral	3
1.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Desenvolvimento do Trabalho	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Conceito e importância da corrosão	6
2.2. Como a corrosão de processa	6
2.2.1 Pilha de corrosão eletrolítica	8
2.2.2. Principais tipos de pilhas de corrosão	8
2.2.2.1 Pilha de eletrólitos diferentes	8
2.2.2.2 Pilhas de ação local	12
2.2.2.3 Pilhas de concentração iônica	14
2.3. Métodos de proteção contra corrosão	14
2.3.1 Revestimentos protetores	15
2.3.2 Proteção catódica	17
2.4 Princípio básico da proteção catódica	17
2.5. Métodos de aplicação da proteção catódica	19
2.5.1 Proteção catódica por anodo galvânico	19
2.5.2 Proteção catódica por corrente impressa	21
2.6 Corrente necessária a proteção catódica	23
2.7 Critérios de proteção catódica	23
2.8 Manutenção no sistema de proteção catódica	24
2.9 Custo da proteção catódica	25
3. METODOLOGIA	26

3.1 Área de estudo	27
3.2 Avaliação dos parâmetros em estudo	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Cálculo teórico da corrente necessária a proteção catódica	32
4.2 Levantamento de campo para determinação da corrente necessária a proteção	35
4.3. Determinação do método de proteção catódica	36
4.3.1. Sistema de proteção galvânico ou anodo de sacrifício	37
4.3.1.1 Determinação teórica da massa do anodo	37
4.3.1.2 Determinação do número de anodos	38
4.3.1.3 Verificação teórica da corrente liberada pelo anodo	39
4.3.2. Sistema de proteção por corrente impressa	41
4.3.2.1 Escolha do material do anodo	42
4.3.2.2 Cálculo da massa do anodo	42
4.3.2.3 Escolha do tipo de anodo	43
4.3.2.4 Cálculo da resistência do circuito	44
4.3.2.5 Corrente liberada pelo anodo	45
4.3.2.6 Vida útil do anodo	46
4.3.2.7 Estimativa de custo do consumo de energia elétrica do sistema por corrente impressa	46
4.4. Comparativo técnico/econômico das duas formas de proteção catódica	47
4.4.1 Sistema galvânico ou anodo de sacrifício	47
4.4.2 Sistema por corrente impressa	48
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

GLOSÁRIO

Proteção catódica - Método proteção contra corrosão pela criação de uma diferença de potencial entre a estrutura a proteger e um material de sacrifício.

Corrosão eletrolítica - Formação de uma pilha de corrosão na presença um eletrólito

Anodo - Área que sofre desgaste.

Catodo - Área protegida.

Pilha - Princípio básico do processo de proteção catódica, onde dois metais diferentes são postos em contato elétrico imerso em um eletrólito.

Eletrólito – Condutor iônico, solução aquosa.

Corrente elétrica - Circulação de elétrons.

Anodo galvânico - Metal eletronegativo.

Corrente Impressa - Utilização de fonte externa de força eletromotriz.

Anodo de Sacrifício - Material destinado a desgaste em benefício da estrutura a proteger.

Leito de anodos - Conjunto de anodos de sacrifício.

Resistência - Resistência elétrica imposta, pelo solo, a passagem de uma corrente elétrica.

Revestimento - Camada protetora da tubulação.

Desgaste – Remoção gradual de partículas da superfície de um material sólido.

Ferrugem – Produto da corrosão.

Corrosão – Desgaste de um material devido a agentes químicos ou eletroquímicos do meio.

Meio – Condições na qual o metal se encontra.

Aquoso - Referente à água.

Oxidação – Perda de elétrons por uma reação química.

Serie galvânica – Lista de materiais arranjados de acordo com seus potenciais de corrosão.

Polarização catódica – Eliminação da corrosão tornando o metal um catodo por meio de uma corrente contínua forçada.

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hidricos.

SRH - Secretaria de Recursos Hidricos.

EB Gavião – Estrutura metálica flutuante de captação de água do Açude Gavião.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ciclo dos metais.	06
Figura 2.2 - Formação da pilha galvânica.	08
Figura 2.3 - Medição de potencial em relação ao solo.	09
Figura 2.4 - Medição de potencial entre dois materiais diferentes.	10
Figura 2.5 - Pilha eletroquímica.	11
Figura 2.6 - Pilha comum de lanterna.	11
Figura 2.7 - Superfície sofrendo processo de corrosão.	12
Figura 2.8 - Desgaste por corrosão.	13
Figura 2.9 - Gota d'água sobre superfície metálica.	13
Figura 2.10 - Instalação de revestimento protetor.	15
Figura 2.11 - Instalação de revestimento protetor.	16
Figura 2.12 - Instalação de revestimento protetor.	16
Figura 2.13 - Proteção catódica com anodo galvânico.	20
Figura 2.14 - Proteção catódica por corrente impressa.	22
Figura 3.1 - Mapa da região metropolitana de fortaleza.	27
Figura 3.2 - Estrutura metálica a ser protegida.	29
Figura 3.3 - Estação de bombeamento EB Gavião.	31
Figura 4.1 - Estrutura metálica em contato com o eletrólito.	32
Figura 4.2 - Teste para determinação da corrente necessária a proteção.	35
Figura 4.3 - Anodo de magnésio.	39
Figura 4.4 - Anodo de magnésio.	39
Figura 4.5 - Anodo de Ferro/Silício/Cromo.	42
Figura 4.6 - Anodo de Ferro/Silício/Cromo.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Série galvânica prática	09
Tabela 4.1 – Corrente medida Estrutura/Eletrodo de referencia.	35
Tabela 4.2 – Tensão natural Estrutura/Eletrólito.	35
Tabela 4.3 – Propriedades dos anodos galvânicos.	37
Tabela 4.4 – Tabela com tipos de anodos galvânicos.	39
Tabela 4.5 – Anodos inertes para sistemas por corrente impressa.	41
Tabela 4.6 – Material utilizado no sistema galvânico.	47
Tabela 4.7 – Material usado no sistema por corrente impressa.	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Fator de correção da corrente em função da velocidade do eletrólito.	33
--	----

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 2.1 – Fórmula da corrente de corrosão.	18, 40, 45
Fórmula 4.1 – Fórmula da corrente teórica necessária a proteção	32, 34, 36
Fórmula 4.2 – Fórmula da densidade de corrente	33
Fórmula 4.3 – Fórmula da massa teórica do anodo	37
Fórmula 4.4 – Fórmula para determinação da corrente teórica liberada pelo anodo de magnésio	40
Fórmula 4.5 – Fórmula para determinação da vida útil do anodo de magnésio	40
Fórmula 4.6 – Fórmula para cálculo da massa do anodo	44
Fórmula 4.7 – Fórmula da resistência do circuito	44
Fórmula 4.8 – Fórmula da resistência do anodo	44
Fórmula 4.9 – Fórmula para determinação da vida útil do anodo de Fé/Si/Cr	46
Fórmula 4.10 – Fórmula da potencia consumida pelo sistema de corrente impressa	46
Fórmula 4.11 – Fórmula para determinar o percentual de consumo de energia elétrica	47

RESUMO

Dentro do processo de gestão dos recursos hídricos existem estruturas metálicas flutuantes, instaladas no interior do açude, que são destinadas à captação de água para abastecimento de cidades e indústrias, essas estruturas estão sujeitas a processos de oxidação de sua estrutura submersa podendo comprometer o abastecimento dessas unidades. Essa corrosão pode ser totalmente controlada através do uso do método de proteção catódica, na qual é formada uma diferença de potencial entre a estrutura a proteger e outro material de menor valor econômico denominado anodo de sacrifício. Essa diferença de potencial faz surgir uma corrente elétrica de sentido ordenado direcionando o desgaste para outro material em benefício da importante estrutura a proteger. Nesse trabalho será apresentado, como exemplo, o estudo realizado na estrutura metálica flutuante de captação de água do Açude Gavião, onde será demonstrado que a estrutura metálica está sofrendo processo de corrosão e onde se faz necessário uma intervenção para interromper a corrosão que ela está sofrendo. Será feita a escolha entre um dos métodos de proteção catódica, realizando o seu dimensionamento e estimando a sua vida útil, realizando um comparativo técnico/econômico entre as formas de proteção.

Palavras-chave: Proteção catódica em estruturas metálicas de captação de água.

ABSTRACT

In the process of management of water resources are floating metal structures, installed inside the weir, which are intended for the abstraction of water supply for cities and industries, such structures are subject to processes of oxidation of his submerged structure may jeopardize the supply of units. This corrosion can be fully controlled through the use of the method of protection catódica, which is made a difference in potential between the structure to be protected and other material of lesser economic value called anodo of sacrifice. This difference is emerging potential of an electric current of meaning directing ordered to wear other material benefit in the important structure to be protected. This work will be presented, as an example, the study in the structure of metal floating abstraction of water from the Açude Gavião, where it will be shown that the structure is suffering from metal corrosion process and where it is necessary to intervene to stop the corrosion that it is suffering. The choice will be made between one of the methods of protection catódica, realizing its design and its estimated useful life, carrying out a comparative technical / economical between the forms of protection.

Keywords: Cathodic protection system in metal structures for water catchment.

1. INTRODUÇÃO

No início da criação das sociedades classistas da idade antiga, aproximadamente 3.000 a.C., um dos principais processos de transição de classes foi a revolução de regadio (agricultura desenvolvida através de grandes canais de irrigação). Nesta forma de produção não existia o proprietário privado da terra, qualquer indivíduo usufruía da terra enquanto era membro da comunidade. Acima desta comunidade estava o Estado que era o proprietário nominal das terras. O camponês tinha que produzir um excedente econômico para o Estado, o qual, através da construção de aquedutos e de canais de irrigação, permitia o desenvolvimento da agricultura. O estado, centralizado na figura do déspota, era altamente centralizador, em suas mãos estavam concentrados os poderes econômicos, políticos, militar e religioso. Com todo esse poder, o estado desenvolvia a economia interna, com construção de obras hídricas e com o desenvolvimento das cidades. Inicialmente a função do estado era apenas técnica, permitir o desenvolvimento da agricultura de regadio e organizando o trabalho nas grandes obras. Com o crescimento da burocracia estatal, necessária à direção das obras, o Estado passou a ser um órgão de dominação política. Os burocratas que antes eram escolhidos pelo talento, passaram a ser recrutados por hereditariedade dentro do grupo burocrático. A burocracia foi se tornando em uma casta social, com a sucessão dos pais pelos filhos nos mesmos postos, mediante adestramento seletivo. O exército, profissionalizado, transformou-se em defensor dos privilégios das camadas dominantes.

Esse fato histórico, que deu origem as classes sociais atuais, mostra que as obras hídricas estão presentes nos alicerces da formação da nossa sociedade e que a água foi um elemento fundamental da nossa própria criação social.

Com o desenvolvimento industrial que atravessa o Brasil, os problemas de corrosão aumentam em grandes proporções, obrigando ao desenvolvimento e ao aperfeiçoamento de novas técnicas para o seu combate e controle exigindo, cada vez mais, um elevado grau de confiabilidade, inclusive, dos sistemas de abastecimento, distribuição e captação de água. Dentre esses muitos processos de transposição e oferta de água, está a etapa de captação em estrutura metálicas flutuantes em interiores de lagos e açudes para abastecimento de cidades e indústrias. Esses sistemas flutuantes necessitam de proteções contra o processo de corrosão das suas estruturas metálicas, por estarem em contato direto com a água do reservatório.

A proposta deste trabalho é apresentar um sistema complementar ao processo de pintura que assegure, de forma eficiente, a proteção dos equipamentos do processo de corrosão, que estão sujeitas, por um período confiável de tempo.

O processo proposto é o método por proteção catódica, o qual cria uma diferença de potencial entre a estrutura metálica a proteger e o meio eletrólito que ele está submetido, eliminando as pilhas de corrosão e direcionando o desgaste para um material de menor valor econômico, assegurando a proteção total da estrutura metálica de captação.

A técnica proteção catódica não é recente, sendo utilizada a muitos anos nos países mais desenvolvidos, depois de ter sido experimentada pela primeira vez, na Inglaterra, em 1824, por Sir Humphrey Davy, para retardar a corrosão das chapas de cobre que revestiam os cascos de madeira dos navios, mediante a fixação, naquelas estruturas, de pequenos pedaços de outros materiais como o ferro, o estanho e o zinco. No Brasil, o início efetivo de sua utilização se deu por volta de 1964, com a construção do Oleoduto Rio–Belo Horizonte (ORBEL), da Petrobras. Mais recentemente, graças à aplicação eficiente das técnicas de proteção catódica, as companhias de águas, de mineração, de energia elétrica, de distribuição de gás, petróleo e derivados, as petroquímicas e indústrias, de um modo geral, têm encontrado maior facilidade para resolver os problemas de corrosão causados pelo solo, pela água ou por corrente de fuga, que aparecem com frequência em suas instalações metálicas subterrâneas ou submersas. (Gomes, Luiz Paulo – Sistema de Proteção Catódica, pg 15)

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo e propor uma solução técnica para proteger, do processo de corrosão, as estruturas metálicas flutuantes que estão em contato direto com a água de lagos e açudes usando o método de proteção catódica.

1.2. Objetivos Específicos

- 1.2.1 Realizar o estudo teórico da proteção catódica da estrutura metálica flutuante de captação de água do Açude Gavião para o distrito Industrial de Maracanau e Cidades da Região Metropolitana;
- 1.2.2 Dimensionar o sistema de proteção catódica para a estação de bombeamento do Açude Gavião;
- 1.2.3 Realizar um comparativo de técnico/financeiro entre os métodos de proteção catódica;

1.3. Desenvolvimento do Trabalho

A primeira parte do trabalho faz uma introdução sobre os principais processos de corrosão que atinge as estruturas metálicas que estão em contato direto com água no estado líquido, enfocando os principais elementos causadores das pilhas de corrosão. Serão identificadas as principais formas de proteção contra a corrosão e o princípio básico da proteção catódica.

Serão abordados os métodos usados na proteção catódica, o dimensionamento da corrente necessária a proteção, os critérios de uma proteção catódica eficiente e os custos do sistema de proteção catódica.

Como caso prático, será estudado a Estação de Bombeamento de água do Açude Gavião para as Indústrias de Maracanau (Coca-Cola, Vicunha, Kaiser ...), e cidades da região metropolitana (Maranguape, Pacatuba, Guaiúba ...), o sistema é importante pois vários consumidores dependem social e economicamente desta água. A estrutura metálica de sustentação do conjunto moto-bomba foi instalado em meados de 1999 e desde esta data não passou por nenhuma manutenção preventiva, estando sujeita a processos corrosivos severos nas suas estruturas submersas. Como a paralisação no fornecimento de água acarretará prejuízos enormes para os consumidores desta unidade, fez-se necessário proteger esta estrutura, através de um processo eficiente, da corrosão que ele esta sujeita. O método de proteção proposto neste trabalho tem como objetivo proporcionar uma proteção eficiente e economicamente viável para o sistema.

Será realizado um estudo do custo de implantação do sistema de proteção catódica e um comparativo técnico financeiro dos dois sistemas possíveis de proteção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceito e importância da corrosão

O presente trabalho procura abordar, inicialmente, os principais tipos de corrosão a que estão sujeitas as instalações metálicas submersas e a forma de garantir a sua devida proteção.

O conhecimento dos processos corrosivos que atacam esse tipo de instalação é de extrema importância, não só pelo patrimônio valioso que elas representam para as indústrias e companhias de saneamento e águas, mas também para o estudo adequado e a perfeita aplicação das técnicas de combate à corrosão para esses casos, tais como a aplicação dos revestimentos protetores e da proteção catódica.

2.2. Como a corrosão se processa

Corrosão é a deterioração dos materiais, especialmente metálicos, pela ação eletroquímica ou química do meio. Através do processo corrosivo, o material metálico passa da forma metálica, energeticamente metaestável, à forma combinada (forma iônica), energeticamente mais estável, resultando em desgaste, perda de propriedades, alterações estruturais, etc.

Segundo Gomes, Luiz Paulo – Sistemas de proteção catódica, a corrosão é um processo que corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos de obtenção do metal e pode ser assim esquematizado.

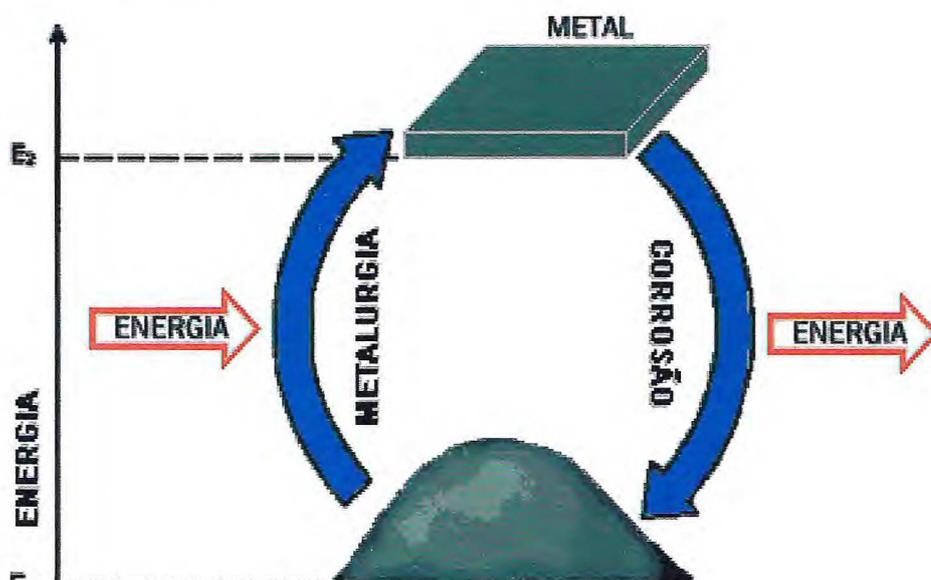


FIGURA - 2.1. Ciclo dos metais.

Fonte: <http://www.iope.com.br/3icorrosao.htm>

As reações de corrosão são espontâneas. Enquanto na metalurgia adiciona-se energia ao processo para obtenção do metal, em corrosão tem-se a volta espontânea do metal a forma combinada, com a conseqüente liberação de energia.

Conforme Gomes, Luiz Paulo – Sistema de proteção catódica, Os processos corrosivos estão presentes em todos os locais e a todo instante da nossa vida diária. Assim, a deterioração de automóveis, eletrodomésticos, estruturas metálicas, instalações industriais, etc, são problemas com os quais o homem se depara a todo instante.

Sendo a corrosão um processo espontâneo, pode-se prever que a maioria dos metais seria imprópria à utilização industrial. Esta utilização é, no entanto, possível, graças ao retardamento da velocidade das reações, que se consegue entre outras formas pelos fenômenos de polarização e passivação, os quais, associados aos processos de proteção, proporcionam a utilização econômica e segura dos materiais metálicos.

Em termos de quantidade de material danificado pela corrosão, estima-se que uma parcela superior a 30% do aço produzido no mundo seja usada para reposição de peças e partes de equipamentos e instalações danificadas pela corrosão (1). Sob o ponto de vista do custo, estima-se em 3,5% do Produto Nacional Bruto o dispêndio com a corrosão em países industrializados (2). (Nunes, Laerce de Paula, Pintura industrial na proteção anticorrosiva, 1990, pg. 04)

De uma forma geral os processos corrosivos podem ser classificados em dois grupos: Corrosão Eletroquímica e Corrosão Química.

Para esse estudo será visto somente o processo Eletroquímico tendo em vista que é o objeto causador do processo estudado.

Corrosão eletroquímica:

Os processos de corrosão eletroquímica são os mais freqüentes na natureza e se caracterizam basicamente por:

- Realizarem-se necessariamente na presença de água líquida;
- Realizarem-se em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, sendo a grande maioria na temperatura ambiente;
- Realizarem-se devido à formação de uma pilha de corrosão.

Em face da necessidade da água líquida, para formação do eletrólito, a corrosão eletroquímica é também denominada corrosão no meio aquoso. Como conseqüência do

funcionamento da pilha de corrosão tem-se a reação de oxidação em um local e a reação de redução em outro, havendo um deslocamento dos elétrons envolvidos entre dois locais.

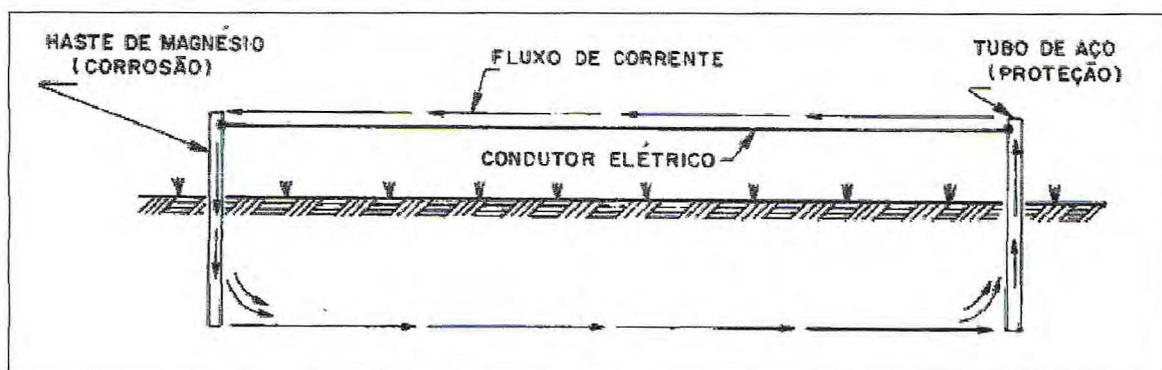


FIGURA - 2.2. Formação da Pilha galvânica.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 04.

2.2.1. Pilhas de corrosão eletroquímica

Corrosão eletroquímica é um processo que se realiza na presença de água, em geral na temperatura ambiente, devido à formação de uma pilha ou célula de corrosão.

A pilha de corrosão é composta de quatro elementos fundamentais:

- Área anódica: superfície onde se verifica o desgaste (reação de oxidação);
- Área catódica: superfície protegida onde não há desgaste (reação de redução);
- Eletrólito: solução condutora ou condutor iônico que envolve simultaneamente as áreas anódicas e catódicas;
- Ligação elétrica: entre as áreas anódicas e catódicas.

As pilhas ou células de corrosão eletroquímicas são responsáveis pela deterioração do material metálico. O aparecimento das pilhas de corrosão é consequência de potenciais de eletrólitos diferentes, em dois pontos da superfície metálica, com a consequente diferença de potencial entre eles.

2.2.2. Principais tipos de pilhas de corrosão

2.2.2.1. Pilhas de eletrodos diferentes:

Esta pilha é também denominada de pilha galvânica e surge sempre que dois metais ou ligas metálicas diferentes são colocados em contato elétrico na presença de um eletrólito. A diferença de potencial da pilha será tão mais acentuada quanto mais distante

estiverem os materiais na tabela de potenciais no eletrólito considerado. Se qualquer dos metais utilizados normalmente em instalações industriais é colocado em contato com a água, existe uma diferença de potencial entre esse metal e a água. Essa diferença de potencial, chamada normalmente de potencial natural, pode ser medida com facilidade por meio de um voltímetro e de um eletrodo de referência, tal como o eletrodo de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO_4), utilizado na prática, como mostrado na figura abaixo.

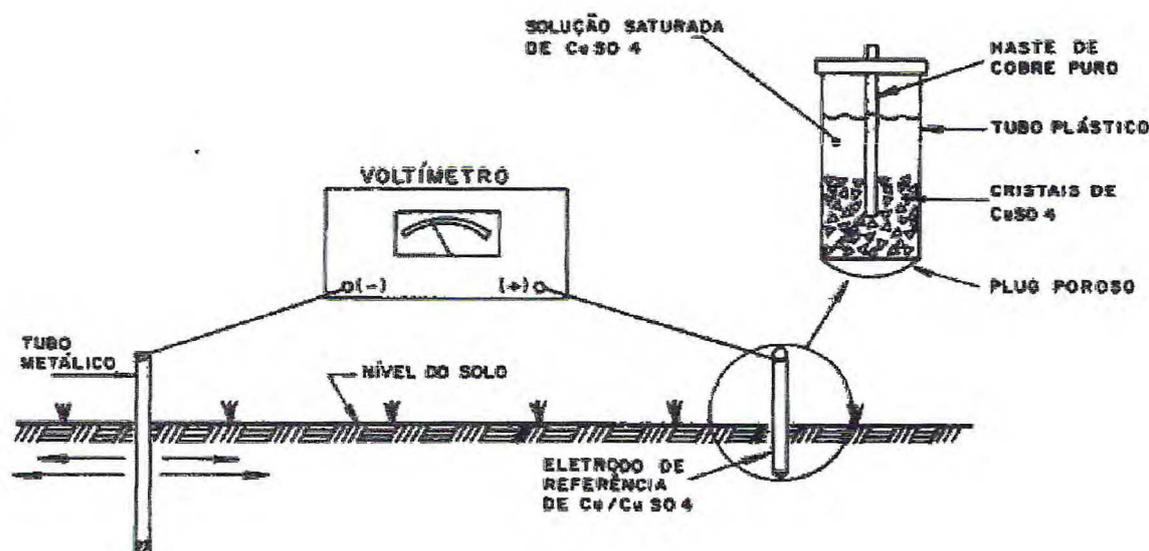


FIGURA - 2.3. Medição de potencial em relação ao solo.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 02.

Para um determinado tipo de eletrólito cada metal apresenta um potencial diferente, de acordo com a tabela 2.1, conhecida como Série Galvânica Prática.

TABELA - 2.1. Série galvânica prática.

Metal	Potencial (volts) (1)
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

(1) Potenciais típicos normalmente observados em solos neutros e água, medidos em relação ao eletrodo de Cu/CuSO_4 . Valores um pouco diferentes podem ser encontrados em diferentes tipos de solos.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 03.

A diferença de potencial existente entre dois metais submetidos ao eletrólito pode ser obtida conforme mostrado na figura 2.4 e os valores mostrados na tabela 2.1.

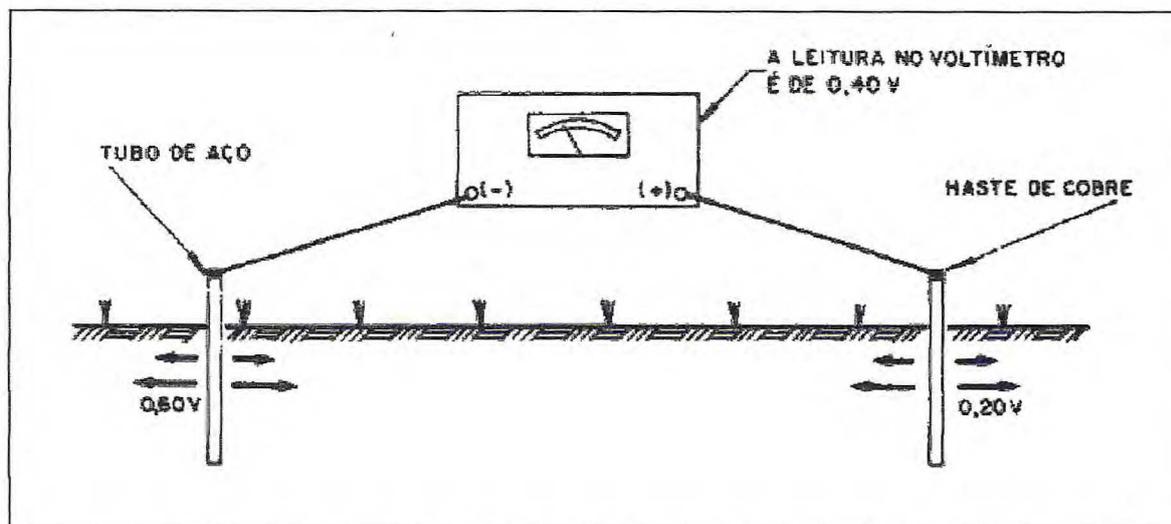


FIGURA - 2.4. Medição de potencial entre dois metais diferentes.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 03.

O sentido convencional da corrente se estabelece sempre a partir do metal de potencial mais negativo, através do eletrólito, para o metal de potencial menos negativo (o movimento de elétrons se processa em sentido inverso), formando assim a chamada pilha de corrosão galvânica. Quando isso acontece, o metal que libera corrente para o solo se corroe, adquirindo comportamento anódico, sendo chamado de anodo e o metal que recebe a corrente do solo fica protegido, adquirindo comportamento catódico, sendo intitulado de catodo da pilha formada.

Conforme Gomes, Luiz Paulo – Sistema de proteção Catódica, essa propriedade dos metais é utilizada para o combate à corrosão de uma estrutura de aço enterrada ou submersa e essa técnica recebe o nome de proteção catódica. A mesma técnica é utilizada a muitos anos, em escala industrial, para a construção de pilhas comuns de lanterna, como mostrado na figuras 2.5 e 2.6.

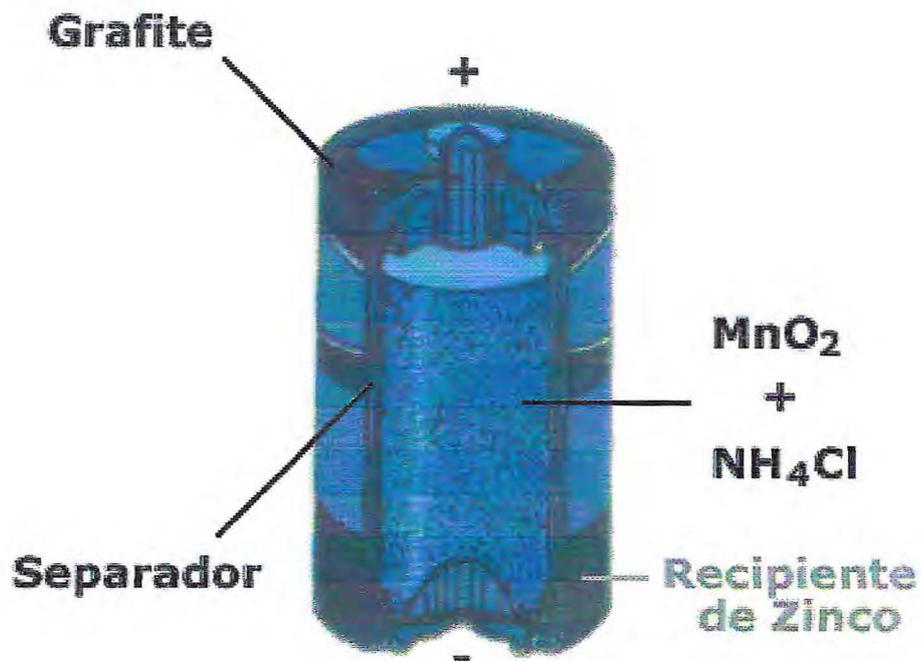


FIGURA - 2.5. Pilha eletroquímica.

Fonte: <http://www.conecteducacao.com/esconect/medio>

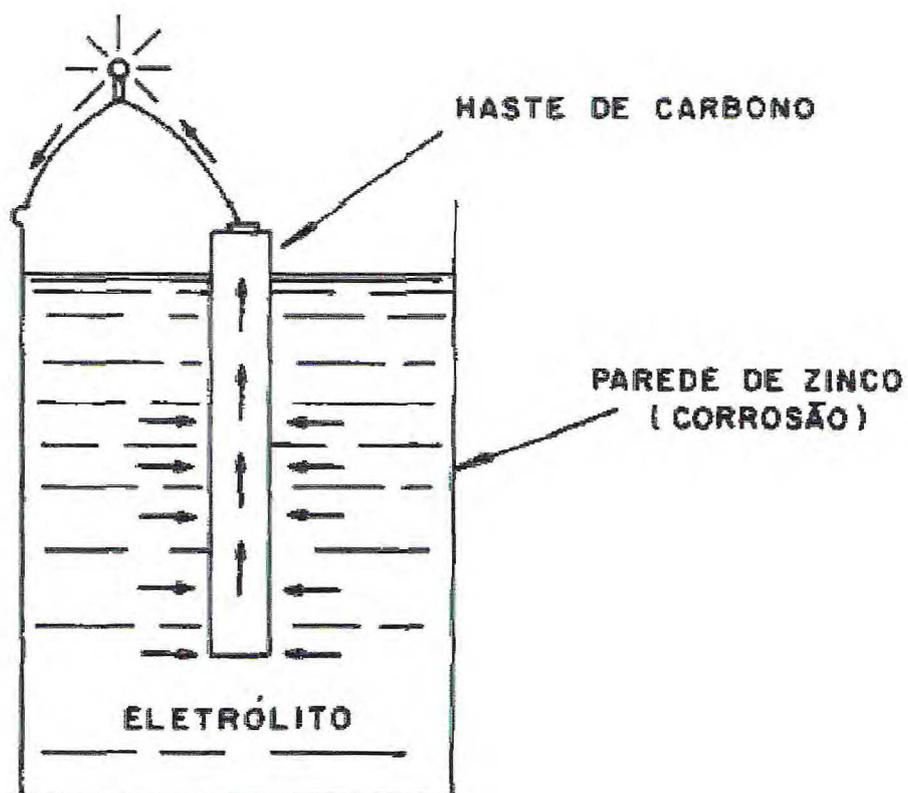


FIGURA - 2.6. Pilha comum de lanterna.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 05.

Com base nesse raciocínio, extremamente simples, conclui-se facilmente que devemos evitar, sempre que possível, o contato elétrico entre metais diferentes, na construção de instalações industriais, principalmente quando as estruturas metálicas são enterradas ou submersas.

2.2.2.2. Pilha de ação local

Os aços, largamente utilizados em instalações Industriais, não são homogêneos, possuindo inclusões não metálicas, variações de composição química e tensões internas diferentes resultantes dos processos de conformação e de soldagem. Essas variações fazem com que as superfícies do aço se comportem como se fossem constituídas de materiais metálicos diferentes. As pilhas de corrosão, formadas ao longo da superfície do aço, tanto podem ser microscópicas como macroscópicas e a intensidade do processo corrosivo dependerá da magnitude da diferença de potencial que se estabelece nas pilhas formadas.



FIGURA - 2.7. Superfície sofrendo processo de corrosão.

Fonte: <http://www.ebape.fgv.br/radma/doc/gem/gem-035>



FIGURA - 2.8. Desgaste por corrosão.

Fonte: [http:// www.fastaccess.pt/cgi/cgi](http://www.fastaccess.pt/cgi/cgi)

Segundo Gomes, Luiz Paulo – Sistema de Proteção Catódica, o ataque corrosivo pode ser generalizado, porém nunca uniforme e a superfície corroída apresenta irregularidades com aspecto rugoso, resultante da alternância das áreas anódicas e catódicas, sendo comum incidirem em zonas preferenciais, com o desenvolvimento de alvéolos mais profundos, podendo perfurar a parede metálica.

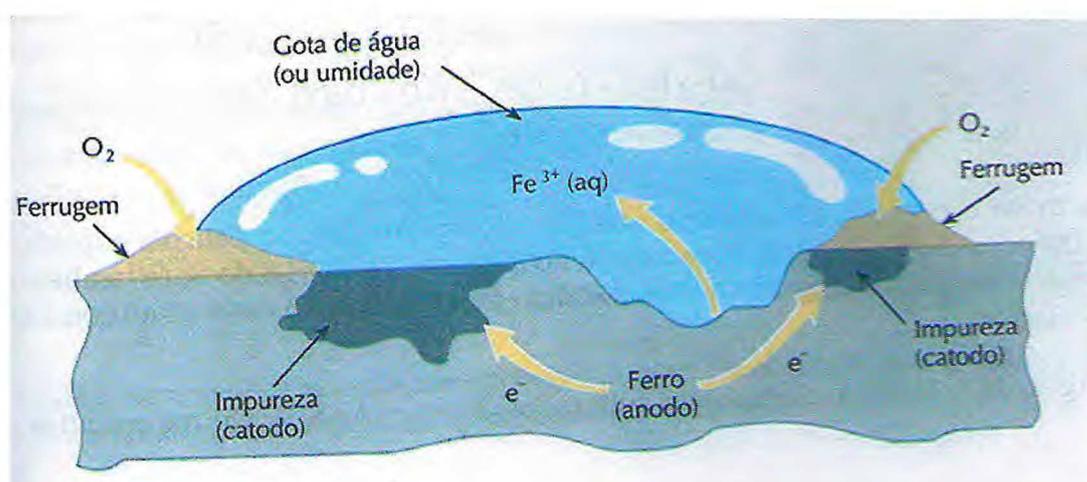


FIGURA - 2.9. Gota d'água sobre superfície metálica.

Fonte: [http:// www.desgastesolidos.pt/cgi/cgi](http://www.desgastesolidos.pt/cgi/cgi)

Esta pilha é a mais freqüente na natureza, aparecendo em um mesmo metal devido à heterogeneidade diversa, decorrente de composições químicas, texturas do material, tensões internas, etc.

As causas determinantes da pilha de ação local são:

- Inclusões, segregações, bolhas, trincas;
- Estado diferentes de tensões;
- Polimento diferencial;
- Diferença no contorno e tamanho e nos contornos de grão;
- Tratamentos térmicos diferentes;
- Materiais de diferentes épocas de fabricação;
- Diferença de temperatura e de iluminação;
- Pilha ativa-passiva: esta pilha ocorre nos materiais formadores de película.

protetora, como, por exemplo, o cromo, o alumínio, os aços inoxidáveis, etc. A película protetora se constitui numa fina película de produto de corrosão que passiva a superfície metálica. Se a película for danificada em algum ponto por ação mecânica e, principalmente, pela ação de íons halogenetos, será formada uma área ativa na presença de uma grande área passiva com o conseqüente aparecimento de uma forte pilha, que proporciona corrosão localizada.

2.2.2.3. Pilha de concentração iônica:

Esta pilha surge sempre que um material metálico é exposto a concentrações diferentes de seus próprios íons. Ela ocorre porque o eletrodo torna-se mais ativo quando decresce a concentração de seus íons no eletrólito. Esta pilha é mais freqüente em frestas, quando o meio corrosivo é líquido. Neste caso, o interior da fresta recebe pouca movimentação de eletrólito, tendendo a ficar mais concentrado em íons de metal, enquanto que a parte externa da fresta fica menos concentrada, com conseqüente corrosão das bordas das frestas.

2.3. Métodos de proteção contra corrosão

Todos os processos corrosivos acima citados podem ser eliminados com relativa facilidade e baixo custo mediante a utilização de um revestimento protetor convenientemente escolhido, complementado por um sistema de proteção catódica.

2.3.1. Revestimentos protetores

A escolha do revestimento a ser utilizado é função, entre outras variáveis, das condições do meio onde a instalação será construída. Os revestimentos betuminosos, aplicados a quente, vêm sendo utilizados há muitos anos para a proteção de tubulações, apresentando grande eficiência. Mais recentemente estão sendo usados, também, revestimentos por meio de fitas adesivas. O revestimento possui a finalidade específica de formar uma barreira protetora, isolante, entre o metal e o solo ou água, impedindo, com isso, o funcionamento das pilhas de corrosão. Desde que as correntes de corrosão sejam impedidas de circular através do eletrólito, a corrosão cessa totalmente. Acontece, porém, que mesmo os revestimentos de boa qualidade, bem especificados e aplicados com o máximo rigor, mediante preparo adequado da superfície, aplicação de primer conveniente, inspeção com holiday detector e reparos, possuem falhas, devido à porosidade normal dos materiais utilizados e aos danos decorrentes do transporte, manuseio e instalação, sem falar nas uniões soldadas, que são revestidas, muitas vezes precariamente, por meio de processo manual. Além disso, as variações das condições do eletrólito contribuem para o envelhecimento da camada isolante, com o passar do tempo diminuindo progressivamente sua eficiência. Sempre acontece que um revestimento com excelente eficiência imediatamente após a construção da obra fica sujeito a várias falhas em tempo relativamente curto. As correntes de corrosão fluindo através dessas falhas, normalmente em pontos concentrados, contribuem para corrosão localizada, podendo furar a parede metálica.



FIGURA - 2.10. Instalação de revestimento protetor.

Fonte: [http:// www.esgecologica.com/s_catodica.asp](http://www.esgecologica.com/s_catodica.asp)



FIGURA - 2.11. Instalação de revestimento protetor.

Fonte: [http:// www.esgecologica.com/s_catodica.asp](http://www.esgecologica.com/s_catodica.asp)



FIGURA - 2.12. Instalação de revestimento protetor.

Fonte: [http:// www.esgecologica.com/s_catodica.asp](http://www.esgecologica.com/s_catodica.asp)

2.3.2. Proteção catódica

O único método seguro e econômico para a proteção contra a corrosão de instalações metálicas enterradas ou submersas, consiste no uso de um revestimento adequado, com as preocupações normais de aplicação e inspeção complementada pela proteção catódica. A correta aplicação de um sistema de proteção catódica equivale à obtenção de um revestimento perfeito, ou seja, totalmente isento de falhas, sendo que os revestimentos e a proteção catódica estão intimamente ligados. Quanto melhor o revestimento, mais baixo o custo da proteção catódica e quanto pior o revestimento, maior será a quantidade de corrente necessária para proteger os tubos.

2.4. Princípios básicos da proteção catódica

Segundo Gentil, Vicente – Corrosão, 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. 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, 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 fica protegida. Para melhor entender o fenômeno da proteção catódica, examinemos a equação fundamental da corrosão, mostrada abaixo:

$$I = \frac{Ea - Ec}{R} \quad (2.1)$$

Onde:

I = corrente de corrosão, que flui do anodo para o catodo (ampéres);

$Ea - Ec$ = diferença de potencial entre o anodo e o catodo (volts);

R = soma da resistência de saída da corrente do anodo para o eletrólito, com a resistência de entrada da corrente do eletrólito para o catodo (ohm).

Pela equação, verificamos que quando existe a diferença de potencial “ $Ea - Ec$ ” sobre a superfície de uma estrutura enterrada e quando a resistência “ R ” possui um valor finito, a corrente de corrosão “ I ” flui, com o aparecimento do processo corrosivo, na área anódica. Proteger catodicamente a estrutura significa evitar que a corrente continue fluindo, fazendo com que a diferença de potencial entre as áreas anódica e catódica seja nula. Outra maneira de anular-se a corrente de corrosão, como é fácil concluir, consiste em aumentar infinitamente o valor da resistência “ R ”, o que pode ser conseguido mediante a aplicação de um revestimento “perfeito” sobre a superfície da estrutura, solução não utilizada na prática, uma vez que tal revestimento é economicamente inviável. Para a proteção da estrutura com a máxima economia são usados, com muita frequência, os 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. Raciocinando de outra maneira, podemos dizer que a proteção catódica consiste em tornar positivo o potencial do solo ou água que envolve a estrutura metálica que desejamos proteger, de tal maneira que as correntes de corrosão não possam mais abandonar, diretamente para o solo, a superfície do metal.

2.5. Métodos de aplicação da proteção catódica

Existem dois métodos para a aplicação de um sistema de proteção catódica: o método galvânico, ou por anodos de sacrifício, e o método por corrente impressa. Em qualquer dos dois existe um suprimento de corrente contínua em quantidade tal que, penetrando, por exemplo, em uma tubulação submersa, é suficiente para eliminar as pilhas de corrosão normalmente nela existentes. A escolha, na prática, do método a ser utilizado, depende da análise de várias considerações técnicas e econômicas, sendo que cada qual tem suas vantagens e desvantagens.

2.5.1. Proteção catódica com anodos galvânicos

Os anodos galvânicos, ou anodos de sacrifício, são normalmente os escolhidos quando se precisa de pouca quantidade de corrente para proteger a estrutura (revestimento de boa qualidade e estruturas de pequenas dimensões) e quando o solo possui baixa resistividade elétrica. As principais vantagens da utilização de anodos galvânicos para proteger, uma estrutura submersa:

- Não requer suprimento de corrente alternada no local;
- Os custos de manutenção, após o sistema instalado, são mínimos;
- Raramente aparecerão problemas de interferência com outras instalações metálicas enterradas;
- Os custos de instalação são baixos.

Por outro lado, as desvantagens são as seguintes:

- A quantidade de corrente fornecida à estrutura é limitada pela diferença de potencial, bastante baixa, entre os anodos e a estrutura;
- A proteção ficará muito mais difícil se as resistividades elétricas do eletrólito não forem suficientemente baixas (no máximo 6.000 ohm.cm);
- Se o revestimento da estrutura não for muito bom, ou se tiver grande diâmetro e grande comprimento, a proteção com anodos galvânicos ficará muito cara, devido à grande quantidade de anodos a ser utilizada;
- Se a estrutura estiver influenciada por correntes de fuga, dificilmente os anodos galvânicos serão eficientes.

Quando um anodo galvânico é ligado a uma estrutura metálica submersa, surge uma pilha galvânica, conforme mostrado na figura 2.13.

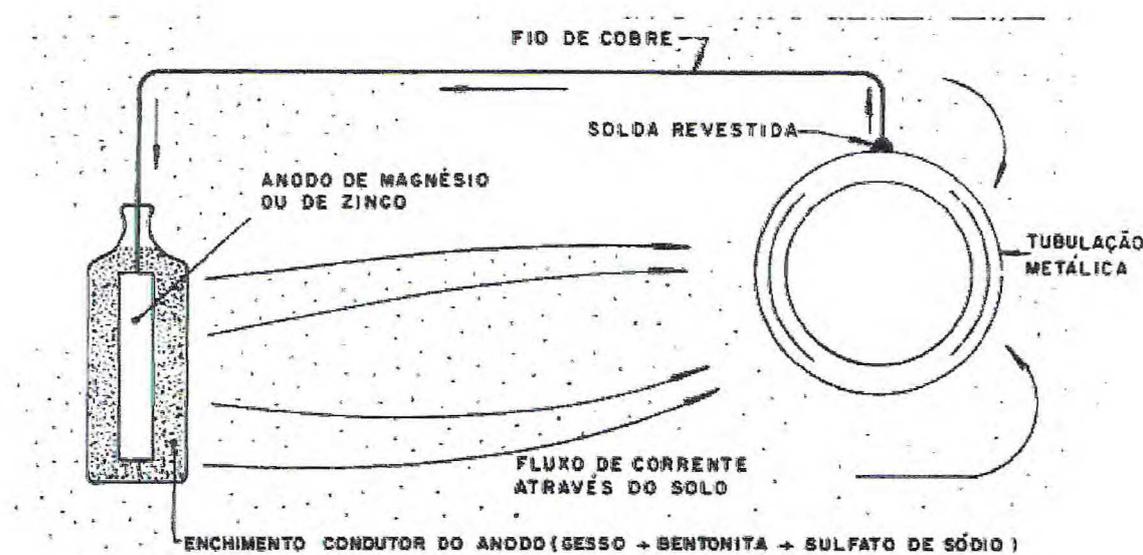


FIGURA - 2.13. Proteção catódica com anodo galvânico.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 20.

O anodo galvânico é constituído de um metal eletronegativo em relação à estrutura e, quando ligado a ela, dentro de um eletrólito como o solo ou a água, adquire comportamento anódico, liberando a corrente de proteção. A corrente emitida pelo anodo penetra na tubulação através do solo ou da água, bloqueia as correntes de corrosão e retorna ao seu ponto inicial, fechando o circuito por intermédio do fio de cobre. As características mais importantes de um anodo galvânico é o seu potencial em circuito aberto (potencial medido em relação ao eletrólito, utilizando um eletrodo de referência), a sua capacidade de corrente (expressa normalmente em A.hora-kg) e sua eficiência (expressa em %).

Segundo Gentil, Vicente – Corrosão, quando se dimensiona um sistema de proteção catódica com anodos de sacrifício, uma das primeiras preocupações é o cálculo de sua vida, uma vez que em função dela serão considerados os aspectos econômicos para a decisão sobre a sua utilização. A vida dos anodos galvânicos é proporcional ao peso, à capacidade de corrente dos anodos utilizados e inversamente proporcionalmente ao peso, à capacidade de corrente dos anodos utilizados é inversamente proporcional à corrente liberada, sendo que o resultado precisa ser multiplicado pelo fator de utilização uma vez que, na

medida em que o anodo se consome, a corrente liberada diminui, devido à redução das suas dimensões.

Os anodos galvânicos podem ser instalados isoladamente ou em grupos que recebem o nome de “camas” ou “leitos”. Assim sendo, é necessário determinar a quantidade de corrente que um leito de anodos poderá liberar para a proteção da estrutura. Os principais fatores que influenciam essa determinação são as dimensões e condições do revestimento da estrutura a ser protegida, a profundidade em que ela esta, o número de anodos utilizados, o potencial da estrutura em relação ao eletrólito e a composição química do metal empregado, sendo esta última fundamental, inclusive para o desempenho do anodo. As composições químicas dos anodos precisam ser controladas com rigor, mediante especificações existentes, sob pena de o sistema projetado falhar totalmente se forem adquiridos e utilizados anodos com composição química fora de determinados limites para alguns elementos importantes. Esse aspecto nos leva à necessidade de escolher com rigor o fabricante do material a ser utilizado. Com relação à escolha do tipo de anodo a ser utilizado, devesse ser analisado tanto o aspecto técnico quanto o econômico.

2.5.2. Proteção catódica por corrente impressa

O outro método de aplicação de proteção catódica em uma instalação metálica enterrada ou submersa utiliza uma fonte externa de força eletromotriz, sendo, por isso mesmo, denominado de método por corrente impressa. As fontes externas de força eletromotriz, largamente utilizadas na prática, são os retificadores, equipamentos extremamente simples que, alimentados por intermédio de um circuito de corrente alternada, fornecem a quantidade de corrente contínua necessária para a eliminação das pilhas de corrosão existentes na superfície metálica que se deseja proteger. Além dos retificadores de corrente, podem também ser utilizados, como fontes de f.e.m., embora menos comuns, as unidades geradoras alimentadas a gás, os geradores termoelétricos, os geradores movidos a vento, ou outro tipo qualquer de equipamento capaz de fornecer a corrente contínua necessária ao sistema de proteção catódica.

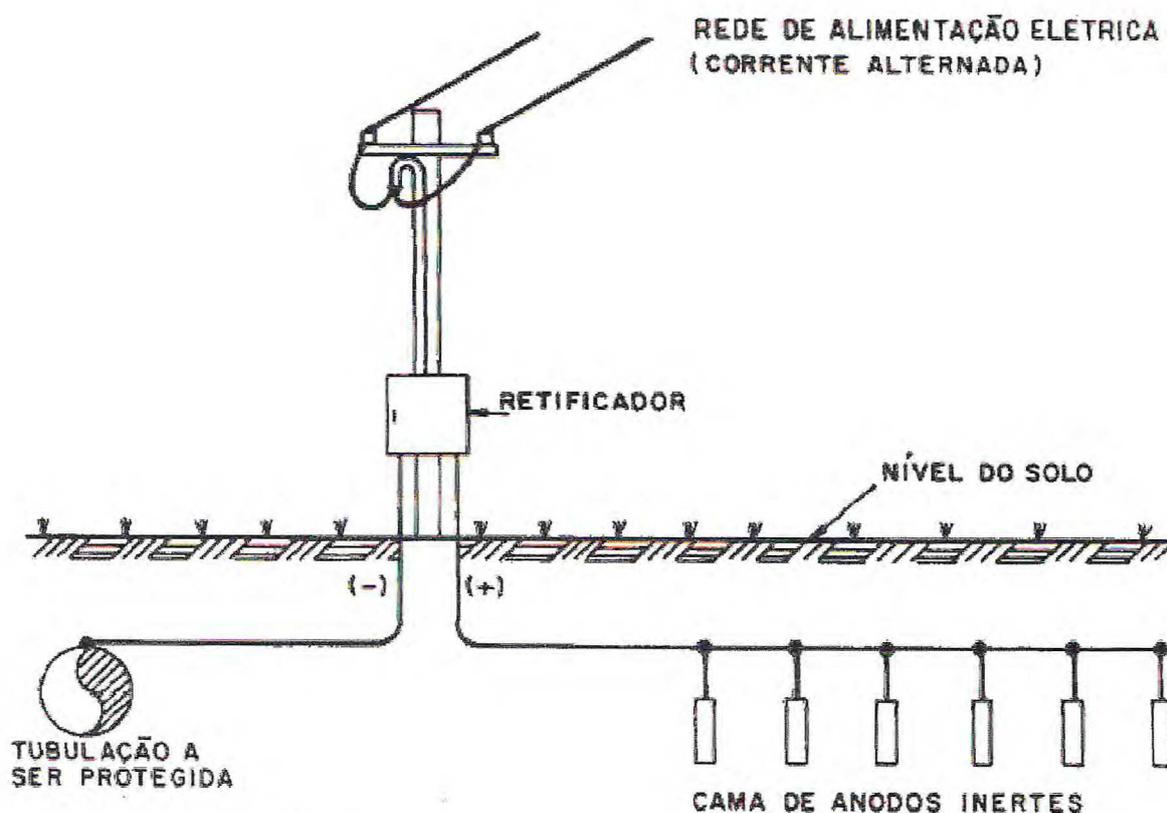


FIGURA - 2.14. Proteção catódica por corrente impressa.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 23.

Nesse estudo consideraremos apenas os retificadores, uma vez que, eles constituem a grande maioria dentre as fontes de força eletromotriz utilizadas para a aplicação da proteção catódica por corrente impressa. Em conjunto com os retificadores, o método por corrente impressa utiliza anodos, tanto quanto possível inertes no solo ou na água.

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

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

As desvantagens para a utilização desse método é a necessidade de manutenção periódica, ainda que de fácil realização, o dispêndio com a energia elétrica consumida, embora de pouca quantidade, e a possibilidade de criar problemas de interferência com outras estruturas metálicas nas proximidades. No sistema por corrente impressa, uma pilha eletrolítica é gerada, na qual fazemos com que a estrutura a ser protegida funcione como catodo e a cama de anodos utilizada libere corrente para o solo. A grande vantagem desse método é a possibilidade de poder-se regular, com extrema facilidade, em função das medições dos potenciais estrutura/solo, a corrente de proteção liberada pelos anodos, mediante ajuste nos táps de saída do retificador.

O retificador constitui-se, basicamente, de um transformador que abaixa a tensão de alimentação para o valor desejado no circuito de proteção catódica, de uma coluna retificadora. Os anodos são instalados na posição vertical ou horizontal. Para o dimensionamento criterioso de um sistema de proteção catódica, torna-se necessário um levantamento de campo no local, onde precisam ser realizados testes, medições, inspeção visual e anotações a respeito das condições encontradas.

2.6. Corrente necessária para proteção catódica

A corrente necessária para proteção catódica depende fundamentalmente de vários fatores:

- Área a proteger e condições do revestimento;
- Resistividade elétrica do eletrólito;
- Dificuldades de polarização da estrutura;
- Forma geométrica da estrutura.

Devido às grandes variações existentes nos fatores acima relacionados, seja de uma estrutura para outra ou numa mesma estrutura, podemos afirmar que a única maneira de se avaliar, com precisão, a corrente necessária para a proteção, é por intermédio do “teste de corrente”, no campo. Por outro lado, em muitos casos existem vantagens técnicas e econômicas que ditam a necessidade de se projetar o sistema de proteção catódica antes mesmo da obra ter sido construída.

2.7. Critérios de proteção catódica

Depois de ligado o sistema de proteção catódica, torna-se necessário verificar se a estrutura metálica ficou realmente protegida contra a corrosão. O procedimento adotado será o de medir os potenciais em relação ao eletrólito, em vários pontos da estrutura, após o sistema

de proteção catódica ser colocado em funcionamento. As medições dos potenciais estrutura/eletrólito são feitas com o auxílio de um voltímetro apropriado, com alta resistência interna (igual ou maior que 100.000 ohm/volt), tendo o seu terminal negativo ligado na estrutura a ser testada e o seu terminal positivo ligado a um eletrodo ou meia-célula de referência, que é colocado em contato com o eletrólito.

Os eletrodos de referência mais utilizados são os seguintes:

- Instalações enterradas ou embutidas no concreto: Cu/CuSO₄ (cobre/sulfato de cobre) ou eletrodo de zinco, com composição igual à dos anodos;
- Instalações submersas: Ag/AgCl (prata/cloreto de prata) ou eletrodo de zinco, com composição igual à dos anodos;

Para o aço, enterrado ou submerso, os valores limites dos potenciais que devem ser encontrados em todos os pontos medidos da estrutura metálica protegida catodicamente são os seguintes:

- usando o eletrodo de Cu/CuSO₄: potenciais iguais ou mais negativos que – 0,85V;
- usando o eletrodo de Ag/AgCl: potenciais iguais ou mais negativos que – 0,80V;
- usando o eletrodo de zinco: potenciais iguais ou menos positivos que +0,25V.

Segundo Gentil, Vicente – Corrosão, outro critério consiste em promover, mediante a injeção da corrente de proteção catódica, uma elevação mínima de 0,30V (em alguns casos 0,25 V é suficiente), no campo negativo, no potencial natural (potencial medido antes da ligação do sistema de proteção catódica) da estrutura. Esse critério é válido qualquer que seja o eletrodo de referência usado. Quando não se sabe qual o potencial de proteção de determinada liga ou material metálico, um critério seguro para protegê-lo consiste em elevar seu potencial no campo negativo em 0,30V, sendo que, para os materiais anfóteros (chumbo, zinco, alumínio e estanho), basta que essa variação seja de 0,15V. Esses metais não podem ser polarizados com potenciais mais negativos que –1,2V, pois sofrem corrosão severa, chamada de corrosão catódica, devido aos valores altos de pH desenvolvidos, tornando o meio muito alcalino.

2.8. Manutenção do sistema de proteção catódica

A proteção catódica necessita de manutenção, uma vez que a proteção das estruturas depende do funcionamento permanente do sistema instalado. A interrupção no sistema de proteção não provoca, a curto prazo, prejuízos de monta, tais como “lucros

cessantes”. Entretanto, se as paralisações forem constantes, a médio e a longo prazo pode-se contar com prejuízos dessa natureza. Além dos prejuízos materiais pode-se também esperar descrédito dos usuários perante os serviços públicos. Qualquer que seja o sistema instalado, proteção catódica por anodos galvânicos ou por corrente impressa, deve-se estabelecer um programa de acompanhamento que possibilite os ajustes necessários em tempo útil.

2.9. Custo da proteção catódica

O custo total de um sistema de proteção catódica não pode ser calculado previamente com precisão, porém pode-se estimar os seus principais custos, que são:

- Custo do levantamento de dados de campo;
- Custo dos materiais;
- Custo da instalação;
- Custo da manutenção.

Uma vez realizado o levantamento de campo, é perfeitamente possível estabelecer o custo da proteção catódica. Os dados que mais influem na composição do custo são:

- Resistividade elétrica do eletrólito;
- Qualidade do revestimento empregado;
- Disponibilidade de corrente alternada para alimentação dos retificadores;
- Dimensões e tipo da instalação a proteger.

Dados técnicos do Açude Gavião

Geral:

Bacia Hidrográfica: 94,54 km²

Coordenadas Geográfica : 24M – 0547344; UTM – 9568066.

Localização: Município de Pacatuba.

Sistema: METROPOLITANA.

Barragem:

Capacidade: 32.900.000m³

Vazão regularizada: 3,80 m³/s

Comprimento do Coroamento: 668,00 m.

Sangradouro: Cota (m): 36,00; Largura (m): 19,80.

Dados técnico do sistema de bombeamento e componentes.

Vazão máxima 1.560 m³/h.

Extensão da adutora 1 Km.

Três motores de indução de (150 Kw) 200CV, cada.

Três bombas de 520 m³/h, cada.

Subestação com dois transformadores de 500 Kva, cada.

Grupo moto gerador de 450 Kva, 612A.

Sistema de automação local e remoto.

Cidades abastecidas pelo sistema Acarape/Gavião

Água Verde	-	Diâmetro 150mm
Acarape	-	Diâmetro 200mm
Pacatuba	-	Diâmetro 100mm
Guaiuba	-	Diâmetro 100mm
Maranguape	-	Diâmetro 400mm
Pavuna	-	Diâmetro 150mm

Indústrias e Fazendas abastecidas pelo sistema Acarape/Gavião:

MG.Agropecuária	-	Diâmetro 75mm
Cialne	-	Diâmetro 100mm

RVNOR	-	Diâmetro 100mm
Faz. Vitória	-	Diâmetro 50mm
Sto. Antônio	-	Diâmetro 25mm
Kaiser	-	Diâmetro 250mm
Marisol	-	Diâmetro 200mm
DI – Maracanaú (Ind.)	-	Diâmetro 150mm

O estudo trata do método de proteção da estrutura metálica de captação de água no Açude Gavião do processo corrosivo que está submetido.

Foi realizado testes e medições em campo para se obter:

- Corrente necessária a proteção;
- Dimensões da estrutura flutuante;
- Condutividade elétrica da água;
- PH.

3.2. Avaliação dos Parâmetros em Estudo

Foram realizadas, primeiramente, as medições da estrutura física que estava em contato direto com a água do Açude. Em seguida foram verificadas as características químicas da água do reservatório. Foi, também, realizado um teste para determinação da corrente real necessária a proteção da estrutura.



FIGURA - 3.2. Estrutura metálica a ser protegida.



FIGURA - 3.3. Estação de bombeamento EB Gavião.

Com base nessas informações obtidas em campo, foi possível realizar todos os cálculos para determinação do processo mais adequado para a proteção do sistema. Foi calculada a eficiência real do revestimento da estrutura e feita a escolha do método e dos materiais a serem usados para sua proteção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentadas as principais medidas e formas adotadas no dimensionamento teórico do sistema de proteção catódica da estrutura metálica flutuante de captação de água do Açude Gavião para o Distrito Industrial de Maracanau e cidades de Maranguape, Água Verde, Guaiuba, Pacatuba, entre outras localidades.

Nesse estudo serão abordados os dois métodos de proteção catódica e pretende-se, no final, realizar uma comparação em termos de custo e eficiência dos sistemas.

4.1. Cálculo teórico da corrente necessária à proteção catódica.

A corrente teórica necessária à proteção independe do tipo de sistema adotado e a proteger. Essa corrente pode ser determinada pela fórmula:

$$I = A \times Dc \times F \times (1 - E) \quad (4.1)$$

I = corrente teórica necessária, em mA;

A = área da estrutura a ser protegida: esta área é obtida a partir da forma geométrica da estrutura, devendo ser considerada somente a área que estiver em contato com o eletrólito, sendo expressa em m^2 ;

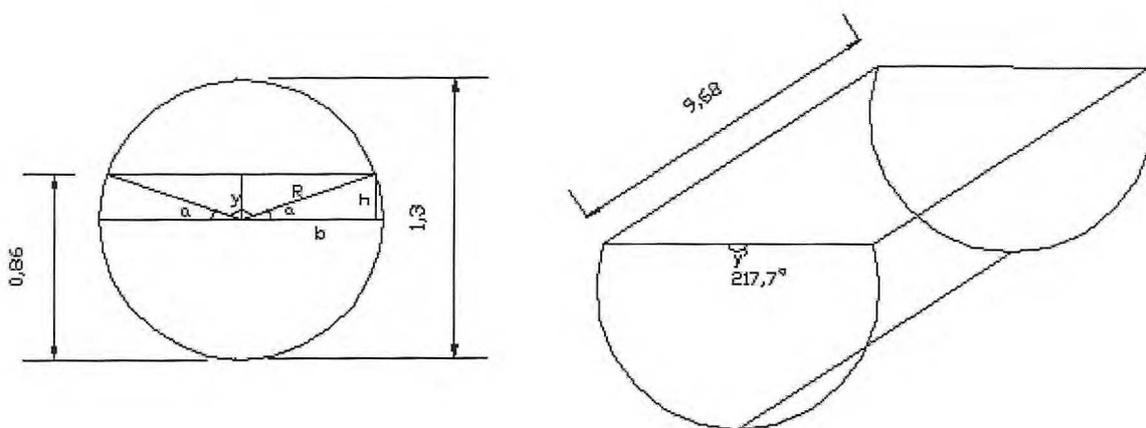


Figura 4.1. Estrutura metálica em contato com o eletrólito.

$$R = 0,65 \text{ cm}$$

$$a = 18,849^\circ$$

$$AT1 = \frac{217,7}{360} = 0,6047$$

$$b = 0,615 \text{ cm}$$

$$A = 2 \times \pi \times R = 4,08$$

$$y = 142,3^\circ$$

$$A = 0,6047 \times 4,08$$

$$AT^2 = 0,9313 \text{ m}^2$$

$$A = 2,47 \text{ m}^2$$

$$ATt = 2 \times (0,9313) + (2,47 \times 9,68) = 25,8 \text{ m}^2 \times 2$$

$$ATt = 51,6 \text{ m}^2 \text{ (Área total em contato com o eletrólito)}$$

Dc = Densidade de corrente: é a corrente necessária por unidade de área. A densidade de corrente utilizada é obtida em função da resistividade do eletrólito e referi-se à estrutura sem revestimento, sendo expressa em mA/m^2 .

$$Dc = 73,73 - 13,35 \log \rho \quad (4.2)$$

$$\rho = 1.808 \text{ (resistividade elétrica do eletrólito em ohm.cm)}$$

$$Dc = 30,25 \text{ mA/m}^2$$

F = Fator de correção da velocidade: é um coeficiente quando existe movimento relativo entre a estrutura e o eletrólito.

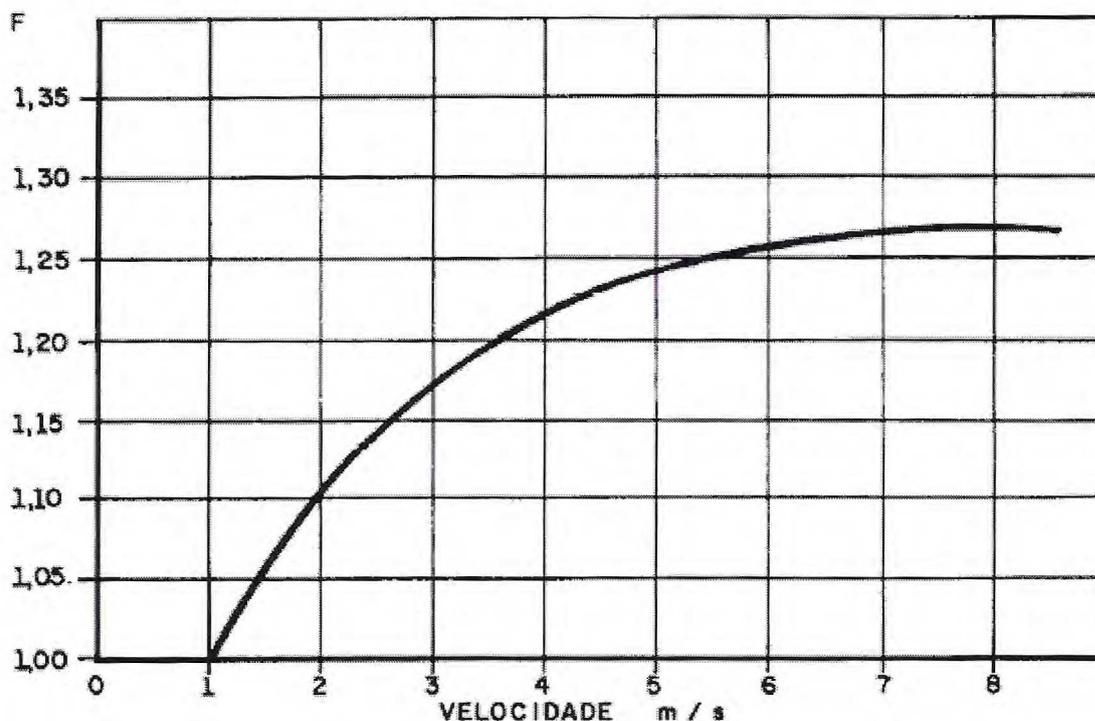


GRAFICO - 4.1. Fator de correção da corrente em função da velocidade do eletrólito.

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 59.

Nesse caso teórico a velocidade adotada foi de 1, pois no local não há variação da velocidade superior a 1m/s.

E = Eficiência do revestimento: o emprego de revestimento tem a finalidade de formar uma barreira entre o material metálico e o eletrólito, combatendo a corrosão. O processo corrosivo surge quando ocorre poros e falhas no revestimento surgindo correntes que fluem para o eletrólito. O tipo de revestimento usado na estrutura estudada é do tipo Alcatrão Epóxi e tem mais de 5 anos de aplicação sem nunca ter tido nenhum tipo de manutenção.

Com base em informações teóricas será adotado nesse estudo uma eficiência de 50% no revestimento.

Com base nos dados teóricos e aplicando-se a forma, tem-se:

$$I = A \times Dc \times F \times (1 - E) \quad (4.1)$$

$$I = 51,6 \times 30,25 \times 1 \times (1 - 0,50)$$

$$I = 780,45 \text{ m A (Corrente teórica necessária para proteção da estrutura)}$$

4.2 Levantamento de campo para determinação da corrente necessária a proteção

Como a estrutura em estudo já é existente, é prudente um levantamento de dados em campo para avaliar a real condição e necessidades da proteção da estrutura. Os testes executados foram de medição dos potenciais Estrutura/Eletrólito e teste de injeção de corrente para determinação da corrente necessária a proteção.

O teste de medição de potencia Estrutura/Eletrólito o obtido com o auxílio de um voltímetro de alta resistência interna e um eletrodo de referencia Cu/CuSO₄.

O teste para determinação da corrente necessária para proteção da estrutura é realizado mediante injeção de corrente na estrutura com o auxílio de uma fonte de corrente contínua, que no caso deste estudo foi uma bateria de 12 Vcc. Conforme esquema mostrado abaixo.

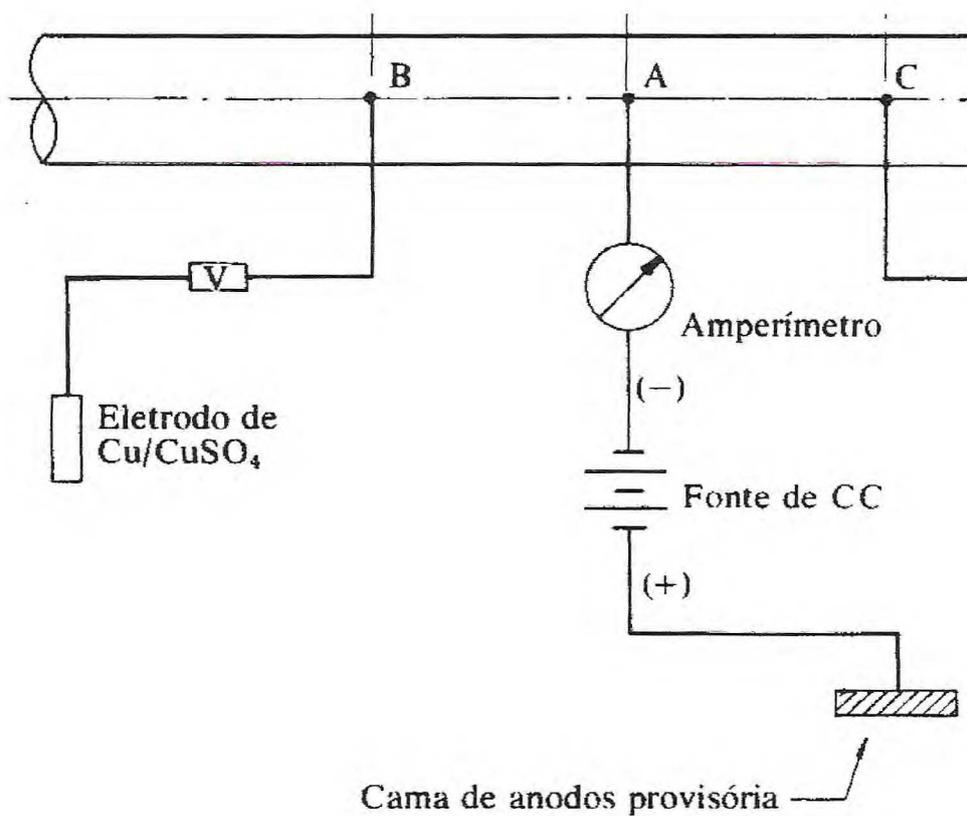


FIGURA - 4.2. Teste para determinação de densidade de corrente.

Fonte: Corrosão, 1996, pg. 277

Os dados obtidos em campo com a injeção de corrente foram:

TABELA - 4.1. Corrente medida Estrutura/Eletrodo de referência.

Numero	Tensão (V)	Corrente (A)
01	-0,50	0,512
02	-0,65	1,000
03	-0,70	1,389
04	-0,76	1,500
05	-0,83	1,953
06	-0,85	2,100

TABELA - 4.2 Tensão natural Estrutura/Eletrólito.

Tensão (V)	
01	-0,45
02	-0,39

Após o teste realizado observou-se que a corrente necessária para a proteção da estrutura era bem maior do que a encontrada nos cálculos teóricos de 780,45 mA. A nova corrente mínima necessária terá de ser 2,100A para garantir o potencia de proteção de -0,85V.

Com base no valor da corrente encontrada pode-se determinar a eficiência (E) real do revestimento da estrutura.

$$I = A \times Dc \times F \times (1 - E) \quad (4.1)$$

$$2,1 = 51,6 \times 30,25 \times 1 \times (1 - E)$$

$$E = 0,99865\%$$

Com base nos valores obtidos nos testes práticos, pode-se concluir que o potencial natural -0,39V Estrutura/Eletrólito esta abaixo dos -0,85V necessários para a proteção da estrutura e que o revestimento esta mais danificado do que os 50% considerados no estudo teórico.

4.3. Determinação do método de proteção catódica.

A proteção catódica pode ser obtida através de dois processos: Processo galvânico ou anodo de sacrificio e o processo por corrente impressa.

Será realizado o estudo dos dois casos para que possa ser feito uma análise técnica/econômica da forma de proteção.

4.3.1. Sistema de proteção galvânico ou anodo de sacrificio

Escolha do material do anodo:

Anodo de zinco. Utilizado para a proteção de instalações enterradas e submersas.

Anodo de Alumínio. Utilizadas somente para instalações submersas, principalmente, as instalações marítimas em especial as plataformas de petróleo.

Anodo de Magnésio. Utilizado para proteção de instalações enterradas ou submersas em água doce.

As principais características dos anodos são: capacidade de corrente (A .h/kg), o potencial em circuito aberto medido em relação a ao eletrodo de Cu/CuSo₄ (V), e o peso especifico (g/cm³).

TABELA - 4.3. Propriedade dos anodos galvânicos.

Anodos	Capacidade de Corrente (A . h/kg)	Potencial em volts (Cu/CuSO4)	Eficiência (%)
Zinco	740	-1,10	90/95
Magnésio	1.100	-1,60	50/60
Alumínio	2.200/2.844	-1,10	75/95

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 71.

Devido às condições de campo e de acordo com as informações anteriores será adotado o anodo de MAGNÉSIO.

4.3.1.1 Determinação teórica da massa do anodo.

Consiste na determinação da massa necessária de anodo para uma determinada vida útil.

$$M = \frac{8.760 \times V \times I}{C \times F} \quad (4.3)$$

M = Massa (kg)

V = Vida útil desejada para o anodo (anos): a vida útil do anodo foi estimada em um tempo curto para que se possa acompanhar a eficiência do sistema de proteção. O tempo estimado foi de 3 ANOS.

OBS: A determinação da vida útil do anodo pode ser a mesma da estrutura a proteger.

I = Corrente necessária à proteção (A): Conforme calculado anteriormente, 2,10 A.

C = Capacidade de corrente do anodo (A .h/kg): Conforme tabela anterior para anodo de magnésio 1.100 A h/kg.

F = Fator de utilização: O fator de utilização normalmente adotado é de 90% para anodos que apresentam forma alongada.

8.760 = Numero de horas durante um ano.

$$M = \frac{8.760 \times V \times I}{C \times F} \quad (4.3)$$

$$M = \frac{8.760 \times 3 \times 2,10}{1.100 \times 0,90}$$

$$M = 55,475 \text{ kg}$$

4.3.1.2. Determinação do número de anodos.

Consiste em verificar, com o auxílio do catálogo do fabricante, quais são os formatos e as massas unitárias dos anodos disponíveis no mercado.

Serão necessários 5 anodos de magnésio tipo FBR 1500/100, com massa unitária de 10 kg cada, totalizando 50 kg, conforme figuras 349, 4.20 e tabela 4.4.

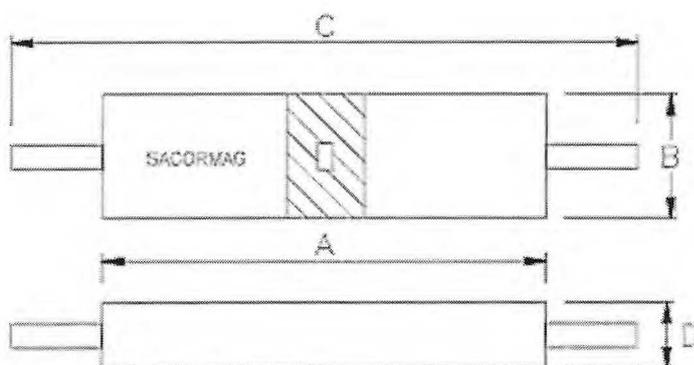


FIGURA - 4.3. Anodo do Magnésio.

Fonte: <http://www.sacor.com.br/pages/portugues/divProtCat/divProtCat.htm>



FIGURA - 4.4. Anodo de Magnésio.

Fonte: <http://www.sacor.com.br/pages/portugues/divProtCat/divProtCat.htm>

TABELA - 4.4. Tabela com tipos de anodos de Magnésio.

TIPO/TYPE	DIMENSÕES (mm) DIMENSIONS (mm)				PESO LÍQUIDO(KG) NET WEIGHT(KG)	CORRENTE CURRENT (A)
	A	B	C	D		
600/50	600	50	700	30	1,5	0,07
1200/50	1200	50	1300	30	3,0	0,12
1500/50	1500	50	1650	30	3,6	0,14
1250/75	1250	75	1400	30	4,6	0,13
1500/75	1500	75	1650	30	5,6	0,15
1500/100	1500	100	1650	40	10,0	0,16

Fonte: <http://www.sacor.com.br/pages/portugues/divProtCat/divProtCat.htm>

4.3.1.3. Verificação teórica da corrente liberada pelo anodo.

A corrente liberada por anodo depende do material do anodo, do seu formato e da resistividade elétrica do eletrólito.

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (2.1)$$

Onde:

I = Corrente (A);

ΔV = Diferença de potencial disponível entre o anodo e a estrutura polarizada (V). Os valores de ΔV utilizados são:

Anodo de magnésio $\Delta V = 0,70V$

Anodo de zinco e zinco $\Delta V = 0,25 V$

R = Resistência teórica de contato anodo/eletrólito (ohm); para anodos alongados de forma cilíndrica pode-se calcular utilizando a seguinte formula:

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left(\ln \times \frac{4L}{\frac{\sqrt{0,6S}}{\pi}} - 1 \right) \quad (4.4)$$

R = Resistência anodo/eletrólito (ohm);

S = Área da seção transversal do anodo

$S = 40cm^2$

ρ = Resistência elétrica do eletrólito (ohm.cm);

$\rho = 1.808$ ohm.cm. Conforme especificação anterior.

L = Comprimento do anodo

$L = 1500$ mm. Conforme tabela do fabricante.

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left(\ln \times \frac{4L}{\frac{\sqrt{0,6S}}{\pi}} - 1 \right) \quad (4.4)$$

$$R = \frac{1.808}{2 \times 3,14 \times 1500} \times \left(\ln \times \frac{4 \times 1500}{\frac{\sqrt{0,6 \times 40}}{3,14}} - 1 \right)$$

$$R = 1,4745 \text{ ohm}$$

A corrente teórica liberada pelo anodo seria de:

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (2.1)$$

$$I = \frac{0,70}{1,4745}$$

$$I = 0,4747 A \text{ (corrente liberada por anodo – tipo.1500/100).}$$

Como será necessária uma corrente mínima de 2,100 A, serão necessários 05 (cinco) anodos para se obter a corrente mínima de proteção.

$$I_{\text{total}} = 0,4747 \times 5 = 2,3736 A$$

Serão necessários 05 anodos para se obter uma corrente superior a 2,100 A para proteção da estrutura. A massa total dos 05 anodos será de 50 kg, conforme tabela 4.4.

Refazendo os cálculos para se obter a nova vida útil do anodo de sacrificio obtemos:

$$V = \frac{M \times C \times F}{8.760 \times I} \quad (4.5)$$

$$V = \frac{50 \times 1.100 \times 0,90}{8.760 \times 2,3736}$$

$$V = 2,39 \text{ anos (28 meses)}$$

A vida útil do anodo é inferior porque a massa total do anodo comercial é 10% menor do que a calculada anteriormente. A corrente também foi alterada pois a soma das correntes liberadas pelos anodos comerciais é superior a calculada em aproximadamente (11% superior).

4.3.2. Sistema de proteção por corrente impressa.

No sistema por corrente impressa será adotada a corrente de 2,10A obtido nos cálculos do item 4.2, “levantamento de campo para dimensionamento de sistema de proteção catódica”.

4.3.2.1. Escolha do material do anodo.

Os anodos usados nos sistema de proteção por corrente impressa são os anodos inertes e são mostrados na tabela 4.4:

TABELA - 4.5. Anodos inertes para sistema por corrente impressa.

Anodo	Densidade de corrente recomendada (a/m ²)	Desgaste médio (kg/A . ano)
Grafite	até 3	0,20
Ferro/silício (Fe-Si)	até 15	0,35
Ferro/silício/cromo (Fe-Si-Cr)	até 15	0,35(2)
Chumbo/antimônio/prata (Pb-Sb-Ag)	50/100	0,10
Titânio platinizado (Ti-Pt)	até 1.000	desprezível
Nióbio platinizado (Nb-Pt)	até 700	desprezível
Tântalo platinizado (Ta-Pt)	até 1.100	desprezível
Titânio oxidado	até 1.100	desprezível
Magnetita (Fe ₃ O ₄)	até 115	0,04
Ferrita (0,4 Mo . 0,6 Fe ₂ O ₃)	até 115	0,0004(3)
Ferrita (0,1 Mo . 0,9 Fe ₂ O ₃)	até 115	0,002(3)

Fonte: Sistema de proteção catódica, 1981, pg. 82.

O anodo escolhido foi o de Ferro/Silício/Cromo (Fe/Si/Cr), pelo seu baixo desgaste anual, por apresentar uma corrente correspondente à necessária à estrutura em estudo e por ser indicada para uso em água doce.

4.3.2.2. Escolha do tipo e formato do anodo.

A escolha baseia-se nos dados técnicos dos catálogos dos fabricantes e é baseada na sua vida útil, na sua massa, nas dimensões e na sua corrente liberada. O anodo escolhido foi o tipo de Ferro/Silício/Cromo (Fe/Si/Cr) 1500/75, da SACOR, onde pode ser observado na figura 4.5 e 4.6.



FIGURA - 4.5. Anodo de Ferro/Silício/Cromo.

Fonte: <http://www.sacor.com.br/pages/portugues/divProtCat/divProtCat.htm>

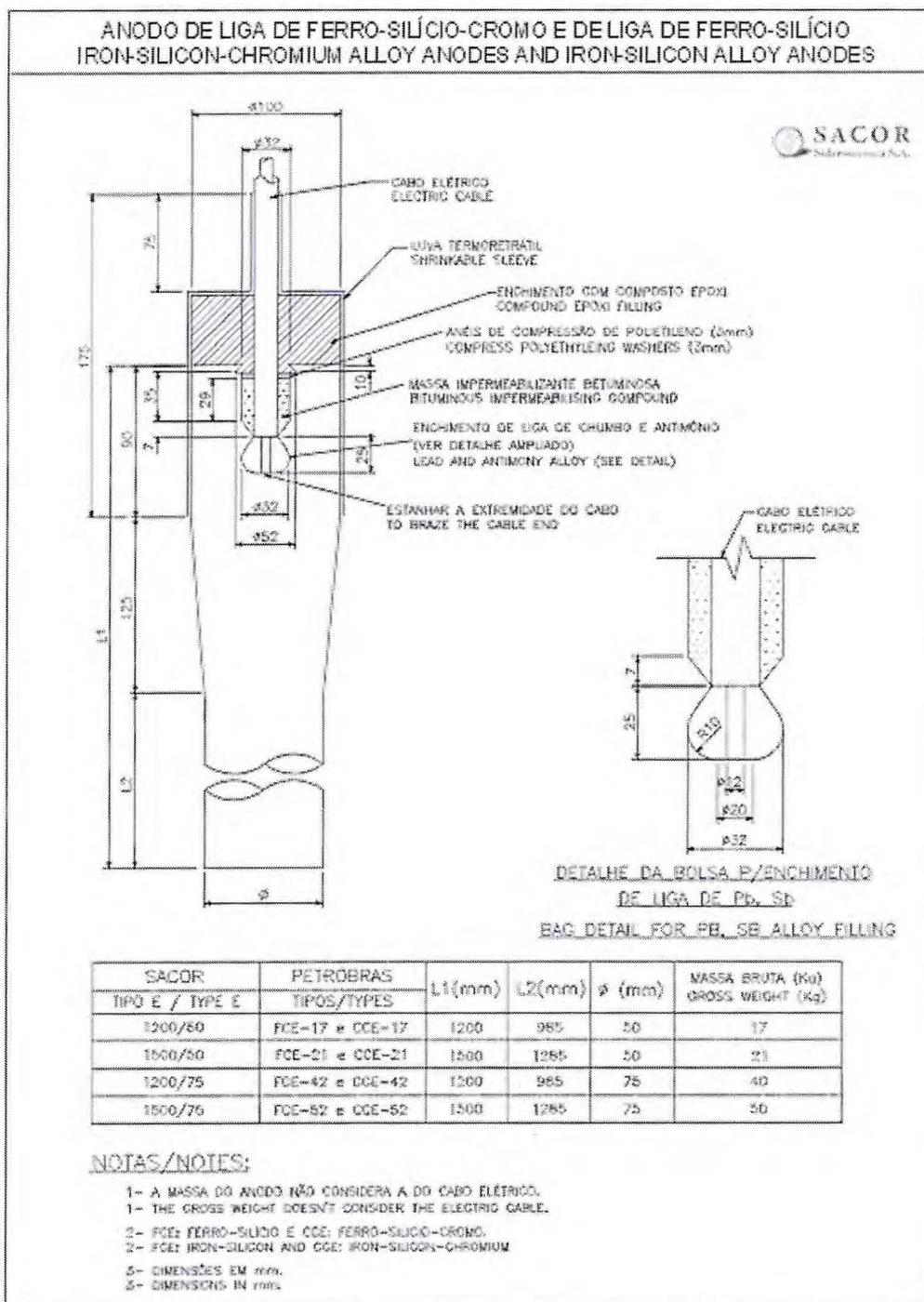


FIGURA - 4.6. Anodo de Ferro/Silício/Cromo.

Fonte: <http://www.sacor.com.br/pages/portugues/divProtCat/divProtCat.htm>

4.3.2.3. Cálculo da massa de anodos.

A massa mínima necessária do anodo é obtida através da formula:

$$M = \frac{D \times V \times I}{F} \quad (4.6)$$

Onde:

M – Massa do anodo (kg)

D – Desgaste do anodo (Kg/A.ano). 0,35 conforme tabela 4.5

V – tempo de vida útil desejada para o anodo (anos). 3 anos (estimado p/ teste)

I – Corrente máxima a ser injetada pelo anodo (A). 2,100 A

F – Fator de utilização dos anodos. 80%

$$M = \frac{0.35 \times 3 \times 2.10}{0.80}$$

$$M = 2,756 \text{ kg}$$

4.3.2.4. Cálculo da resistência do circuito.

Para o cálculo da resistência do circuito retificador/Anodo/Eletrólito/Estrutura/Retificador, usa-se a expressão abaixo:

$$RT = 1,2 \times (R_{ce} + R_{pc} + R_{ca} + R_{ae}) \quad (4.7)$$

RT – Resistência máxima que deve ter o circuito externo.

R_{ce} – Resistência de contato Catodo/Eletrólito (ohm). Em estruturas pequenas o seu valor é tão baixo que pode ser desprezado.

R_{pc} – Resistência do próprio catodo (ohm). Essa resistência depende da resistência do tubo por metro linear, da resistência elétrica do metal, e da massa do tubo. Em estruturas pequenas seu valor pode ser desprezado no cálculo.

R_{ca} – Resistência dos cabos elétricos de interligação (ohm). Calculada conforme tabela do fabricante. Nesse estudo essa resistência não será considerada pois o comprimento do cabo é muito curto (inferior a 01 metro).

R_{ae} – Resistência de contato Anodo/Eletrólito (ohm). Esta é a parcela mais significativa no cálculo da resistência total do circuito, podendo ser calculada pela expressão abaixo;

Resistência de um anodo circular:

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left(\ln \times \frac{8L}{D} - 1 \right) \quad (4.8)$$

onde:

R – Resistência (ohm).

ρ – Resistividade elétrica do solo (ohm.cm).

L – Comprimento do anodo (cm).

D – Diâmetro do anodo (cm).

$$R = \frac{1808}{2 \times 3,14 \times 128,5} \times \left(\ln \times \frac{8 \times 128,5}{7,5} - 1 \right)$$

$$R = 8,780 \text{ ohm}$$

$$RT = 1,2 \times (R_{ce} + R_{pc} + R_{ca} + R_{ae})$$

$$RT = 1,2 \times (0 + 0 + 0 + 8,780)$$

$$RT = 10,644 \text{ ohm}$$

4.3.2.5. Corrente liberada pelo anodo:

A corrente liberado pelo anodo é a divisão da tensão de alimentação (24Vcc), pela resistência total (Anodo/Eletrólito).

$$RT = \text{Resistência total (ohm). } 10,644 \text{ ohm}$$

$$I = \text{Corrente liberada pelo anodo calculado (A).}$$

$$\Delta V = \text{Tensão fornecida por alimentação externa (Vcc). } 24 \text{ Vcc.}$$

$$I = \frac{\Delta V}{R} \tag{2.1}$$

$$I = \frac{24V_{cc}}{10,644ohm}$$

$$I = 2,255A$$

Obs.: A tensão de alimentação será fornecida por transformador abaixado de 220Vca para 24Vcc, com potência mínima de 100 W.

4.3.2.6. Vida útil do anodo calculado.

A corrente liberada pelo anodo é de 2,255A e a corrente necessária para proteção é de 2,10A. Com base na massa do anodo dimensionado, Ferro/Silício/Cromo (Fe/Si/Cr), pode-se determinar a sua vida útil utilizando a formula abaixo:

M – Massa do anodo (kg). 50 kg (Conforme fig. 6.4)

D – Desgaste do anodo (Kg/A.ano). 0,35 (Fe/Si/Cr)

V – Tempo de vida útil esperada para o anodo (anos).

I – Corrente máxima a ser injetada pelo anodo (A). 2,255A

F – Fator de utilização dos anodos. 80%

$$V = \frac{M \times F}{D \times I} \quad (4.9)$$

$$V = \frac{50 \times 0,80}{0,35 \times 2,255}$$

$$V = 50,681 \text{ (50 Anos e oito meses)}$$

4.3.2.7. Estimativa de custo do consumo de energia elétrica do sistema de proteção por corrente impressa.

Potência consumida (pc) = Tensão fornecida em Vca x Corrente Consumida em Amperes

$$Pc = Vcc \times IA \quad (4.10)$$

$$Pc = 24Vcc \times 2,10A$$

$$Pc = 50,4 \text{ Watts/hora}$$

$$\text{Consumo médio total mensal} = 50,4 \times 24 \text{ (horas)} \times 30 \text{ (dias)} = 36,288 \text{ Kw/mês}$$

$$\text{Custo total mensal com energia elétrica} = 36,288 \text{ Kw} \times 0,25 \text{ R\$} = \text{R\$ } 9,00$$

Potência consumida (Pc): 50,4 Watts

Tensão de alimentação do sistema de retificação (Vcc): 24 Vcc

Corrente necessária para proteção do sistema (IA): 2,255 A

Numero de horas de funcionamento diário (h/dia): 24

Numero meio de dias de funcionamento mensal (mês): 30

Custo total mensal com energia elétrica = R\$ 9,00

Custo médio da tarifa de energia elétrica da EB Gavião: R\$ 0,25

Previsão da demanda mensal total de energia elétrica: 36,288 Kw

Custo mensal médio da energia elétrica da EB Gavião ao longo de um ano: R\$ 40.000,00

Estimativa média percentual de aumento na conta de energia elétrica da EB Gavião com implantação do sistema de proteção catódica por corrente impressa:

$$E\% = \frac{\text{Custo total mensal do sistema de proteção}}{\text{Custo total mensal da Estação de Bombeamento}} \quad (4.11)$$

$$E\% = \frac{9,00R\$}{40.000,00R\$}$$

$$E\% = 0,00225 \%$$

4.4. Comparativo financeiro entre as duas formas de proteção catódica:

4.4.1. Sistema galvânico ou anodo de sacrifício

TABELA - 4.6. Material utilizado no sistema galvânico ou anodo de sacrifício.

Item	Material	Uni.	Quant.	Unit. (R\$)	Total (R\$)
1	Fita isolante elétrica auto-fusão nº. 23, em rolo de 10m de comprimento por 19 mm de largura, marca 3M ou similar.	Un	02	9,80	19,60
2	Cabo elétrico, tipo singelo, condutor de cobre eletrolítico recozido. Têmpera mole, classe 600V, com isolamento de polietileno de alto peso molecular (conforme ASTM D1248, tipo 1, classe C, Grau 5, com espessura mínima de 2,8 mm), na cor preta, bitola 16mm ² .	m	05	4,90	24,50
3	Pó para solda exotérmica em embalagem de 25g, tipo CA-15 da Cadwel ou similar.	Un	04	1,40	5,60

Continuação

Item	Material	Uni.	Quant.	Unit. (R\$)	Total (R\$)
4	Massa epóxi poliamida para revestimento, 2 componentes, em lata de 0,5 kg cada, tipo MEP-300 "A" e "B" da Tubolt ou similar	Conj.	01	26,80	26,80
5	Kit completo para solda exotérmica, cartucho nº. 15.	Un	02	22,20	44,40
6	Conector para derivação de cabo, tipo "Split Bolt", 16mm em cobre, da Eltec ou similar tipo COA-33.	Un	02	30,14	6,28
7	Anodo de Magnésio FBR 1500/100	Un	05	67,50	1.837,50
Total					1.964,68

BASE. Novembro 2007.

4.4.2. Sistema por corrente impressa

TABELA - 4.7. Material utilizado no sistema por corrente impressa.

Item	Material	Uni.	Quant.	Unit. (R\$)	Total (R\$)
1	Fita isolante elétrica auto fusão nº. 23, em rolo de 10m de comprimento por 19 mm de largura, marca 3M ou similar.	Un	02	9,80	19,60
2	Cabo elétrico, singelo, condutor de cobre eletrolítico, recozido, tempera mole, classe 0,6/1kv, com isolamento externo de PVC, bitola de 2,5mm ² .	m	20	0,75	5,00

Continuação

Item	Material	Uni.	Quant.	Unit. (R\$)	Total (R\$)
3	Cabo elétrico, tipo singelo, condutor de cobre eletrolítico recozido. Têmpera mole, classe 600V, com isolamento de polietileno de alto peso molecular (conforme ASTM D1248, tipo 1, classe C, Grau 5, com espessura mínima de 2,8 mm), na cor preta, bitola 16mm ² .	m	05	4,90	24,50
4	Pó para solda exotérmica em embalagem de 25g, tipo CA-15 da Cadwel ou similar.	Un	04	1,40	5,60
5	Massa epóxi poliamida para revestimento, 2 componentes, em lata de 0,5 kg cada, tipo MEP-300 "A" e "B" da Tubolt ou similar	Conj	01	26,80	26,80
6	Kit completo para solda exotérmica, cartucho nº. 15.	Un	02	22,20	44,40
7	Conector para derivação de cabo, tipo "Split Bolt", 16mm em cobre, da Eltec ou similar tipo COA-33.	Un	02	3,14	6,28
8	Anodo de Ferro/Silício/Cromo (Fe/Si/Cr) 1500/75	Un	01	1.837,25	.837,25
9	Transformador abaixador retificador 220Vca / 24Vcc.	Un	01	140,00	40,00
Total					2.119,43

BASE. Novembro 2007.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo, realizado na estrutura metálica de captação de água do Açude Gavião, nos permite tirar as seguintes conclusões:

Observou-se que entre os processos a formação da pilha de corrosão eletroquímica por contato de dois metais diferentes e principalmente pela heterogeneidade do metal são os principais formadores do processo de oxidação de estruturas metálicas flutuantes no interior de lagos de água doce.

Concluiu-se que entre os vários métodos de proteção contra o processo de corrosão o mais usado e o de menor custo é o método de proteção por pintura, no entanto por mais eficiente que seja a sua aplicação ela não garante uma proteção com 100% de eficiência. Na proteção catódica, no entanto, pode-se chegar a uma eficiência de 100% na proteção contra corrosão por um período muito longo de tempo, porém a implantação apenas do método de proteção catódica é de custo bastante elevado. O mais recomendado e que seja um sistema misto de proteção onde, tanto a pintura como a proteção catódica seja usada. Garantindo um eficiente processo de pintura torna-se acessível à implantação do sistema de proteção catódica.

Observou-se que entre os dois métodos de proteção catódica usados (corrente impressa e anodo de sacrifício), o método de proteção por corrente impressa é mais eficiente porque garante uma proteção de mais de 50 anos a estrutura com um gasto mensal de energia elétrica correspondente a 0,00255% do gasto com energia da estação de bombeamento do Açude Gavião. A instalação do método de proteção por anodo de sacrifício, apesar de ter um custo de implantação menos (0,07% menor), garante uma proteção por um tempo inferior a 3 anos onde, após esse tempo, o anodo terá de ser totalmente substituído.

O critério para que obtenha uma proteção pelo sistema catódico por corrente impressa é a formação de uma diferença de potencial entre a estrutura a proteger e um material inerte de menor valor econômico, formando assim uma pilha onde essa diferença de potencial faz surgir uma corrente elétrica que ao penetrar na estrutura metálica flutuante garante a polarização da estrutura. O sistema de proteção por anodo de sacrifício apesar

de ter um custo menor de implantação assegura uma proteção por um tempo curto e a um custo relativamente alto. No sistema por corrente impressa o único gasto, além da sua implantação, será o de consumo de energia elétrica que corresponderá a menos de 0,01% do gasto total daquela unidade, assegurando uma proteção por um tempo superior a 50 anos. A manutenção do sistema por corrente impressa será apenas o de garantir que o transformado retificador permaneça funcionando adequadamente.

O sistema proposto garante uma proteção a estrutura metálica flutuante de captação de água realizando a polarização da estrutura com um transformador que forneça uma tensão 24 Vcc e libere uma corrente de 2,100A, onde o negativo do transformador será ligado a estrutura a proteger e o positivo ao anodo de sacrifício.

Para implantação do sistema por anodo de sacrifício o sistema estará protegido por um período inferior a 3 anos a um custo de 1.964,68, tendo de ser substituído após esse período. No sistema por corrente impressa o custo benefício é mais vantajoso por garantir uma proteção de mais de 50 anos com um gasto mensal inferior a 0,01%, e com apenas um investimento 0,07% maior do que o sistema por anodo de sacrifício.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa algumas recomendações são sugeridas:

- Implantação imediata do sistema de proteção catódica por corrente impressa na unidade estudada;
- Realizar o acompanhamento dos potenciais de proteção no sistema implantado após instalação do sistema proposto;
- Realizar o estudo em outras unidades de bombeamento da COGERH e CAGECE para avaliar o potencial de risco dessas estruturas;
- Continuar com pesquisa sobre sistemas de proteção em outras estruturas de liberação e captação de água;
- Realizar estudos mais detalhados sobre a proteção catódicas dessas unidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOMES, Luiz Paulo, “**Sistema de Proteção Catódica**”, 2º Edição, 1981.

GENTIL, Vicente, “**Corrosão**”. 3º Edição. Rio de Janeiro -RJ, Editora Livros Técnicos e Científico S.A., 1996.

PAULA, Laerce de Nunes., e CARLOS, Alfredo O. Lobo, “**Pintura Industrial na Proteção anticorrosiva**”, Editora livros Técnicos e Científicos, 1º Edição, Rio de Janeiro, Petrobras, 1990.

PEDRO, Antônio Cáceres Florival, “**História Geral**”, Editora Moderna, 1º Edição, São Paulo – SP, 1978.

RAMANATHAN, Lalgudi V., “Corrosão e seu controle”, Editora Hemus Editora Limitada.