



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
MESTRADO EM GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

JOSÉ ARIMATEIA CAVALCANTE DE SOUSA

PROTEÇÃO CATÓDICA DE ESTRUTURA METÁLICA SEMISUBMERSÍVEL DE
CAPTAÇÃO DE ÁGUA. ESTUDO DE CASO: AÇUDE GAVIÃO

FORTALEZA-CE
2013

JOSÉ ARIMATEIA CAVALCANTE DE SOUSA

PROTEÇÃO CATÓDICA DE ESTRUTURA METÁLICA SEMISUBMERSÍVEL DE
CAPTAÇÃO DE ÁGUA. ESTUDO DE CASO: AÇUDE GAVIÃO

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de Gestão de Recursos Hídricos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. John Kenedy de Araújo.

FORTALEZA-CE

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia – BPGE

S697p Sousa, José Arimateia Cavalcante de.

Proteção catódica de estrutura metálica semisubmersível de captação de água. Estudo de caso:
Açude Gavião / José Arimateia Cavalcante de Sousa. – 2013.

94 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Mestrado Profissional em Gestão de
Recursos Hídricos, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Orientação: Prof. Dr. John Kenedy de Araújo.

1. Recursos Hídricos. 2. Corrosão - Proteção. I. Título.

JOSÉ ARIMATEIA CAVALCANTE DE SOUSA

PROTEÇÃO CATÓDICA DE ESTRUTURA METÁLICA SEMISUBMERSÍVEL DE
CAPTAÇÃO DE ÁGUA. ESTUDO DE CASO: AÇUDE GAVIÃO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, área de Gestão de Recursos Hídricos, 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.

Dissertação defendida e aprovada em 13/12/2013 pela banca julgadora:

Prof. Dr. John Kenedy de Araújo (Orientador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Ph.D Marco Aurélio Holanda de Castro

Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Mariano da Franca Alencar Neto

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - IFCE

Ao Universo,
Ao Eu Superior,
Aos meus pais Cosme e Maria,
A minha esposa Xenia, minhas filhas Jéssica e Jamily,
A meu orientador, amigos e colegas de trabalho.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pela ética e moral.

A minha esposa e filhas pelo apoio, confiança e paciência depositada.

Agradeço aos colegas e amigo Cogerialanos.

Agradeço ao orientador Prof^o. Dr. John Kenedy de Araújo.

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

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

RECONHECIMENTO

Reconheço o 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.

SUMÁRIO

GLOSÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FOTOS	v
LISTA DE GRÁFICOS	v
LISTA DE FORMULAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	2
1.1 Objetivo Geral	3
1.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Desenvolvimento do Trabalho	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
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	16
2.4 Princípio básico da proteção catódica	16
2.5 Métodos de aplicação da proteção catódica	18
2.5.1 Proteção catódica por anodo galvânico	18
2.5.2 Proteção catódica por corrente impressa	20
2.6 Corrente necessária a proteção catódica	22
2.7 Critérios de proteção catódica	23
2.8 Manutenção no sistema de proteção catódica	24
2.9 Custo da proteção catódica	24

2.10 Determinação da Condutividade elétrica da água	24
2.11 Instalação de Anodos Galvânicos e Inertes	26
2.12 Classificação de Anodos Galvânicos e Inertes	27
2.13 Anodos de Liga de Alumínio	29
2.14 Dimensionamento de Proteção Catódica Galvânica de Plataforma Marítima Fixa	31
2.15 Distribuição e Instalação dos Anodos	32
2.16 Sistema de Monitoramento	33
2.17 Inspeção de Anodos Galvânicos	33
2.18 Montagem de Sistema de proteção Catódica Galvânica em Plataformas Marítimas	35
2.19 Projeto de sistemas de proteção catódica por corrente galvânica – Bóias e Monobóias	36
2.19.1 Materiais	37
2.19.2 Dimensionamento	37
2.19.3 Distribuição e instalação dos anodos	39
2.20 Sistema de proteção catódica por corrente galvânica de plataforma Semisubmersível	40
2.20.1 Critérios gerais de projeto	40
2.20.2 Materiais	41
2.20.3 Dimensionamento	41
2.21 Distribuição dos anodos	45
2.22 Teste de continuidade elétrica do sistema de proteção catódica	45
3. METODOLOGIA	47
3.1 Área de estudo	47
3.2 Avaliação dos parâmetros em estudo	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Determinação da resistividade do eletrólito	53
4.2 Densidade de corrente	54
4.3 Área da estrutura a ser protegida	55
4.4 Fator de velocidade	55
4.5 Levantamento de campo para determinação da corrente necessária a proteção	56
4.6 Método utilizado para Proteção Catódica	58

4.6.1 Sistema de proteção por corrente impressa	58
4.7 Escolha do material do anodo	58
4.8 Escolha do tipo e formato do anodo	59
4.9 Cálculo da massa de anodos	61
4.10 Calculo da resistência do circuito	61
4.11 Corrente liberada pelo anodo	62
4.12 Vida útil do anodo calculado	63
4.13 Instalação de conjunto retificador por corrente impressa	63
4.14 Retificador	63
4.15 Anodo de sacrifício	65
4.16 Instalação, montagem, ajustes e testes da proteção catódica	66
4.17 Resultados da instalação	66
4.18 Resultados da proteção catódica na estrutura	67
4.19 Acompanhamento dos potenciais de proteção da estrutura	67
4.20 Estimativa de custo para implantação do sistema de Proteção Catódica por Corrente Impressa	68
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXO	

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 Hídricos.

SRH - Secretaria de Recursos Hídricos.

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

Holiday Detector – Detector de falhas no revestimento de pinturas

Rechupes – Concavidades na superfície do material.

Taps – Posições de ajuste da tensão de saída do retificador.

Padrão de limpeza St 3 – Grau de preparação em superfície de aço..

Densidade de Corrente Inicial (Di) - Intensidade de corrente por unidade de superfície necessária à polarização de uma estrutura submetida a proteção catódica.

Densidade de Corrente Inicial Submersa (Dis) - Densidade de corrente inicial necessária à polarização das superfícies submersas da jaqueta e acessórios.

Densidade de Corrente Inicial Enterrada (Die) - Densidade de corrente inicial necessária à polarização das superfícies enterradas das estacas, revestimento de poços e das sapatas provisórias (“mud mat”).

Densidade de Corrente Inicial dos Dutos de Interligação (“Risiers”) (Dir) - Densidade de corrente inicial necessária à polarização das superfícies dos dutos de interligação (“risiers”).

Densidade de Corrente Média (Dm) - Intensidade de corrente por unidade de superfície, necessária à manutenção da polarização de uma estrutura ao longo da vida útil do sistema de proteção catódica.

Densidade de Corrente Média Submersa (Dms) - Densidade de corrente média para as superfícies submersas da jaqueta e acessórios.

Densidade de Corrente Média Enterrada (Dme) - Densidade de corrente média para as superfícies enterradas das estacas, revestimento de poços e das sapatas provisórias (“mud mat”).

Densidade de Corrente Média dos Dutos de Interligação (“Risiers”) (Dmr) - Densidade de corrente média para as superfícies dos dutos de interligação (“risers”).

Densidade de Corrente Final (Df) - Intensidade de corrente por unidade de superfície, necessária à proteção de uma estrutura ao final da vida útil do sistema de proteção catódica.

Densidade de Corrente Final Submersa (Dfs) - Densidade de corrente final para as superfícies submersas da jaqueta e acessórios.

Densidade de Corrente Final Enterrada (Dfe) - Densidade de corrente final para as superfícies enterradas das estacas, revestimento de poços e das sapatas provisórias (“mud mat”).

Densidade de Corrente Final dos Dutos de Interligação (“Risiers”) (Dfr) - Densidade de corrente final para as superfícies dos dutos de interligação (“risers”).

Eficiência Inicial (Ei) - Eficiência do revestimento dos dutos de interligação (“risers”) logo após o lançamento da plataforma.

Eficiência Média (Em) - Eficiência do revestimento dos dutos de interligação (“risers”) na metade da vida útil adotada para o sistema de proteção catódica.

Eficiência Final (Ef) - Eficiência do revestimento dos dutos de interligação (“risers”) ao final da vida útil adotada para o sistema de proteção catódica.

Corrente Inicial (Ii) - Intensidade de corrente necessária à polarização de uma estrutura submetida à proteção catódica.

Corrente Inicial Submersa (Iis) - Intensidade de corrente inicial para as superfícies submersas da jaqueta e acessórios.

Corrente Inicial dos Dutos de Interligação (“Risiers”) (Iir) - Intensidade de corrente inicial para as superfícies dos dutos de interligação (“risers”).

Corrente Média (Im) - Intensidade de corrente necessária à manutenção da polarização de uma estrutura ao longo da vida útil do sistema de proteção.

Corrente Média Submersa (Ims) - Intensidade de corrente média para as superfícies submersas da jaqueta e acessórios.

Corrente Média Enterrada (Ime) - Intensidade de corrente média para as superfícies enterradas das estacas, revestimento dos poços e das sapatas provisórias (“mud mat”).

Corrente Média dos Dutos de Interligação (“Risiers”) (Imr) - Intensidade de corrente média para as superfícies dos dutos de interligação (“risers”).

Corrente Final (If) - Intensidade de corrente necessária à proteção de uma estrutura ao final da vida útil do sistema de proteção catódica.

Corrente Final Submersa (Ifs) - Intensidade de corrente final para as superfícies submersas da jaqueta e acessórios.

Corrente Final Enterrada (Ife) - Intensidade de corrente final para as superfícies enterradas das estacas, revestimentos de poços e das sapatas provisórias (“mud mat”).

Corrente Final dos Dutos de Interligação (“Risiers”) (Ifr) - Intensidade de corrente final para as superfícies dos dutos de interligação (“risers”).

Corrente Inicial Drenada pelos Anodos (Li) - Intensidade de corrente drenada por um anodo nas suas dimensões iniciais.

Resistência Inicial do Contato Anodo-Eletrólito (Ri) - Resistência de contato anodo-eletrólito, com o anodo nas suas dimensões iniciais.

Corrente Final Drenada pelos Anodos (If) - Intensidade de corrente drenada por um anodo nas suas dimensões reduzidas.

Resistência Final de Contato Anodo-Eletrólito (Rf) - Resistência de contato anodo-eletrólito, com o anodo nas suas dimensões reduzidas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ciclo simplificado dos metais	6
Figura 2.2 - Formação da pilha galvânica	8
Figura 2.3 - Medição de potencial em relação ao solo	9
Figura 2.4 - Medição de potencial entre dois metais 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 - Pintura com tinta de base protetora	15
Figura 2.11 - Instalação de fita de revestimento	16
Figura 2.12 - Proteção catódica com anodo galvânico	19
Figura 2.13 - Proteção catódica por corrente impressa	21
Figura 2.14 - Anodos inertes suspensos (típico)	27
Figura 3.1 - Estação de Bombeamento Gavião	47
Figura 3.2 - Estrutura metálica em contato com o eletrólito	50
Figura 4.1 - Estrutura metálica em contato com o eletrólito	55
Figura 4.2 - Teste para determinação de densidade de corrente	57
Figura 4.3 - Anodo de Ferro/Silício/Cromo	59
Figura 4.4 - Anodo de Ferro/Silício/Cromo	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Série galvânica prática	9
Tabela 2.2 - Condutividade de soluções de cloreto de potássio, a 25 °c	26
Tabela 2.3 - Composição química dos anodos	29
Tabela 2.4 - Tolerâncias gerais para as dimensões de um anodo	30
Tabela 2.5 - Limites dos rechupes	31
Tabela 2.6 - Classificação dos defeitos	34
Tabela 2.7 - Nível de inspeção e de qualidade adotado	34
Tabela 2.8 - Tamanho da amostra	35
Tabela 4.1 - Condutividade eletrólito	54
Tabela 4.2 - Resistividade eletrólito	54
Tabela 4.3 - Corrente medida Estrutura/Eletrodo de referência	57
Tabela 4.4 - Tensão natural Estrutura/Eletrólito	57
Tabela 4.5 - Anodos inertes para sistema por corrente impressa	59
Tabela 4.6 - Tensões de saída do retificador	65
Tabela 4.7 - Tensões de proteção conforme ajuste no TAP	66
Tabela 4.8 - Valores medidos	68
Tabela 4.9 - Material utilizado no sistema por corrente impressa	68

LISTA DE FOTOS

Foto 3.1 - Estrutura metálica a ser protegida	49
Foto 4.1 - Vista geral do sistema bombeamento	53
Foto 4.2 - Caixa do retificador	64
Foto 4.3 - Equipamentos no interior da caixa	64
Foto 4.4 - Anodo de Fe-Si-Cr	65
Foto 4.5 - Eletrodo de referencia (Cu/CuSO ₄)	66
Foto 4.5 - Potencial estrutura/eletrólito sem proteção (-0,55Vcc)	67
Foto 4.6 - Potencial estrutura/eletrólito com proteção (-2,67 Vcc)	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Fator de correção da corrente em função da velocidade do eletrólito	56
Gráfico 4.2 - Potenciais obtidos	68

LISTA DE FORMULAS

Formula 2.1 – Formula da corrente de corrosão	17
Formula 2.2 – Condutividades Elétricas	25
Formula 2.3 – Corrente elétrica requerida	38
Formula 2.4 – Massa requerida	38
Formula 2.5 – Corrente drenada (I) pelos anodos	38
Formula 2.6 – Resistência de contato (R) para anodos tipo AES ou ZES	39
Formula 2.7 – Resistência de contato (R) para anodos tipo AQS ou ZQS	39
Formula 2.8 – Raio da dimensão inicial do anodo	39
Formula 2.9 – Comparação das correntes calculadas	39
Formula 2.10 – Calculo da corrente inicial	41
Formula 2.11 – Calculo da corrente média	41
Formula 2.12 – Calculo da corrente final	42
Formula 2.13 – Calculo da massa anódica requerida	42
Formula 2.14 – Calculo da corrente inicial drenada	42
Formula 2.15 – Cálculos da resistência inicial de contato anodo-eletrólito	42
Formula 2.16 – Cálculos do raio equivalente inicial do anodo	43
Formula 2.17 – Raios equivalentes inicial do anodo	43
Formula 2.18 – Cálculos da corrente final drenada	43
Formula 2.19 – Resistência final de contato anodo-eletrólito	44
Formula 2.20 – Comprimento final do anodo	44
Formula 2.21 – Raio equivalente final do anodo	44
Formula 2.22 – Raio equivalente final para anodo do tipo AES	44
Formula 4.1 – Densidade de corrente Dc	54
Formula 4.2 – Eficiência (E) real do revestimento	58
Formula 4.3 – Cálculo da massa mínima necessária do anodo	61
Formula 4.4 – Calculo da resistência do circuito	61
Formula 4.5 – Resistência de um anodo circular	62
Formula 4.6 – Corrente liberada pelo anodo	62
Formula 4.7 – Cálculo da vida útil do anodo dimensionado	63

RESUMO

Dentro da política dos recursos hídricos do estado do Ceará, no Nordeste do Brasil, a COGERH, como instrumento operacional, tem entre suas atribuições a distribuição de água bruta para usos diversos. Dentre os sistemas que a COGERH operacionaliza estão as estações de bombeamento, as quais são responsáveis por abastecer cidades, indústrias, irrigantes, etc. É fundamental que tais estruturas operem de forma satisfatória e eficiente. Dentre os muitos equipamentos que compõem as estações de bombeamento estão às câmaras metálicas flutuantes semisubmersíveis que se localizam na superfície de água dos reservatórios, dando sustentação para que as bombas e motores possam ser fixados e operados de forma confiável e eficiente. No entanto estas estruturas, por serem de aço, estão sujeitas a processos de corrosão severos, fazendo-se necessário que a pintura das áreas submersas assegurem a proteção necessária para que não haja oxidação das mesmas. Como a pintura não é um processo que garante uma eficiência de 100% e termos de revestimento e tem uma vida útil relativamente curta, fazem-se necessários processos complementares para uma segura proteção anti-corrosão. Dentre esses processos está a Proteção Catódica que assegura que enquanto estiver sendo gerada uma “diferença de potencial eletroquímico” entre a estrutura a ser protegida e um anodo de sacrifício a estrutura não sofrerá severos processos de corrosão. Neste estudo foi dimensionado e instalado um Sistema de Proteção Catódica por Corrente Impressa assegurando um potencial ON de proteção de -2,67 Vcc para a estação de bombeamento denominada “EB Gavião” pela importância estratégica que ocupa dentro da infraestrutura estadual de recursos hídricos, fazendo parte de sistema responsável pelo abastecimento de importantes cidades e indústrias.

Palavras-chave: Proteção catódica; estrutura metálica; semisubmersível.

ABSTRACT

As part of the water resources policy of the state of Ceará, in Northeast Brazil, COGERH, as an operational instrument, has among its tasks the distribution of bulk water for various uses. Among the water systems that COGERH operates are the pumping stations, which are responsible for supplying water for cities, industries, irrigation, etc. It is vital that these structures operate satisfactorily and efficiently. Among the many devices that make up the pumping stations are the semisubmersible floating metal chambers that are located on the water surface of the reservoirs, providing support to the pumps and motors such that they can be set and operated reliably and efficiently. However, these structures are made from steel and therefore are subject to severe corrosion processes, making it necessary for the painting of the submerged areas to ensure the necessary protection to avoid oxidation of them. As painting alone is not a process that ensures 100% efficiency in terms of coating and has a relatively short lifespan, complementary processes are necessary to ensure safe protection against corrosion. Among these processes is the Cathodic Protection, which ensures that, while a difference in electrochemical potential is being generated between the structure to be protected and a sacrificial anode, the structure will not undergo corrosion processes. For this study, it has been designed and installed an Impressed Current Cathodic Protection System with a potential ON of protection of -2.67 Volts (DC) for the Pumping Station known as "EB Gavião" chosen due to its strategic importance within the state infrastructure of water resources, responsible for supplying water for major cities and industries.

Keywords : Cathodic protection; steel structure; semisubmersible.

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento industrial que atravessa o Brasil, os problemas de corrosão aumentam na mesma proporção, 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 é 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 freqüência em suas instalações metálicas subterrâneas ou submersas. (Gomes, Luiz Paulo – IEC, pg 15)

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo 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

- a) Realizar levantamentos de campo para dimensionamento da proteção catódica da estrutura metálica flutuante de captação de água do açude Gavião que abastece indústrias e cidades da região metropolitana de Fortaleza;
- b) Dimensionar o sistema de proteção catódica para a estação de bombeamento do Açude Gavião;
- c) Realizar um experimento prático para proteção da estrutura;

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 à proteção, os critérios de uma proteção catódica eficiente e os custos do sistema de proteção catódica.

Como caso prático, será estudada a Estação de Bombeamento de água do Açude Gavião para as Indústrias de Maracanau, como por exemplo Coca-Cola, Vicunha e Kaiser, e cidades da região metropolitana como por exemplo Maranguape, Pacatuba e Guaíba. 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 (14 anos) 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 deste sistema, faz-se necessário proteger esta estrutura, através de um processo eficiente, da corrosão que esta

sofrendo. O método proposto neste trabalho tem como objetivo proporcionar uma proteção eficiente e economicamente viável para o sistema, sem que seja necessária a paralisação de seu funcionamento.

Será dimensionado, construído e implantado um sistema de proteção catódica para estrutura semisubmersível em estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

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.

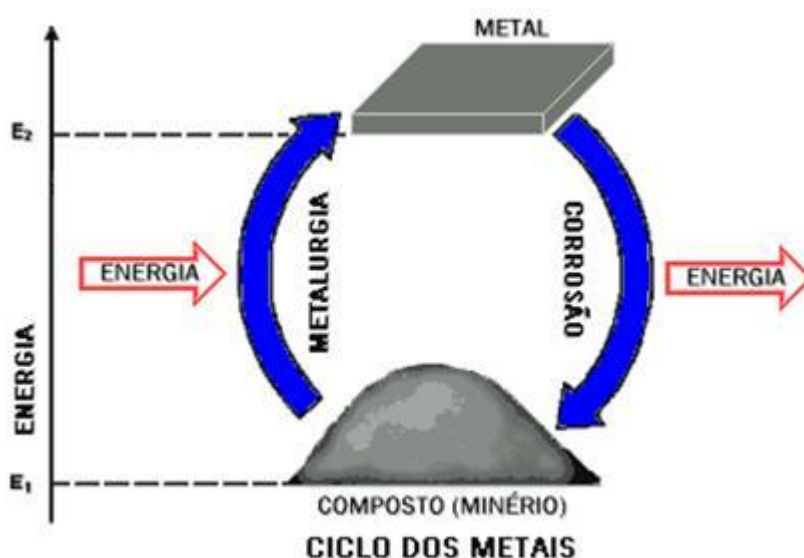
O conhecimento dos processos corrosivos que atacam esse tipo de instalação é de extrema importância, não só pelo patrimônio valioso que elas representam para as indústrias e companhias de saneamento e águas, mas também para o estudo adequado e a perfeita aplicação das técnicas de combate à corrosão para 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 à forma combinada (forma iônica), energeticamente mais estável, resultando em desgaste, perda de propriedades, alterações estruturais, etc.

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 simplificado dos metais



Fonte: <http://www.iope.com.br/3i_corrosao.htm>. Acesso em: 10 dez. 2013.

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, com a conseqüente liberação de energia.

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.

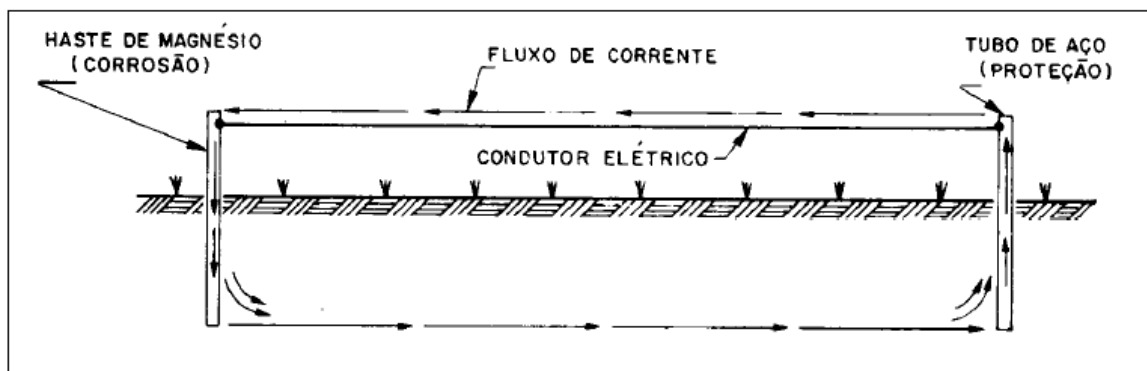
Corrosão eletroquímica:

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.

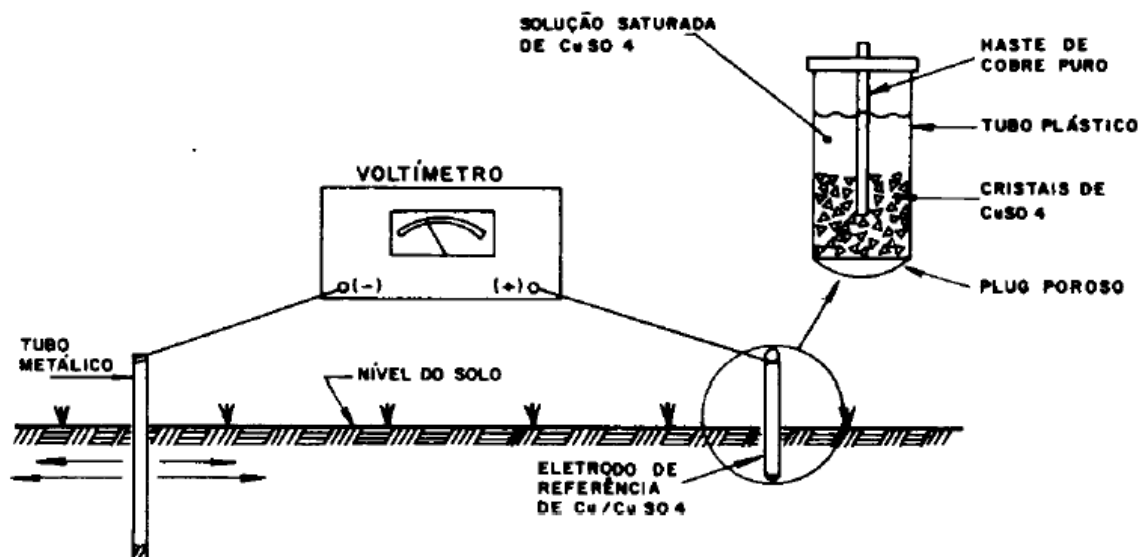
2.2.2 Principais tipos de pilhas de corrosão

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/CuSO₄), 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 1.2, conhecida como Série Galvânica Prática.

Tabela 2.1 - Série galvânica prática

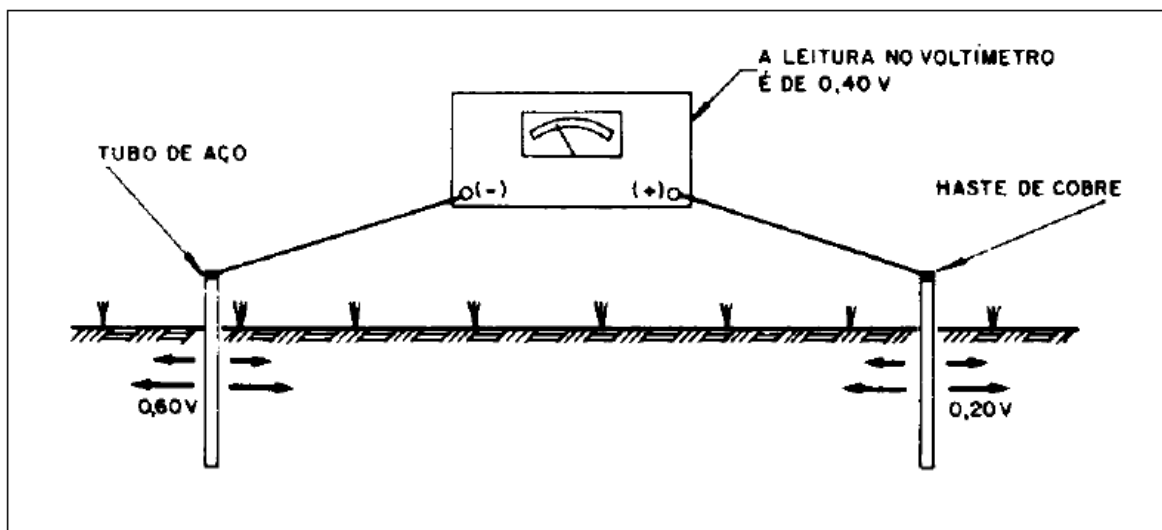
Metal	Potencial (volts) (1)
Magnésio comercialmente puro	-1,75
Liga de magnésio (6% Al, 3% Zn, 0,15% Mn)	-1,60
Zinco	-1,10
Liga de alumínio (5% Zn)	-1,05
Alumínio comercialmente puro	-0,80
Aço (limpo)	-0,50 a -0,80
Aço enferrujado	-0,20 a -0,50
Ferro fundido (não grafitizado)	-0,50
Chumbo	-0,50
Aço em 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/CuSO₄. 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 2.2, e os valores mostrados na tabela 2.1.

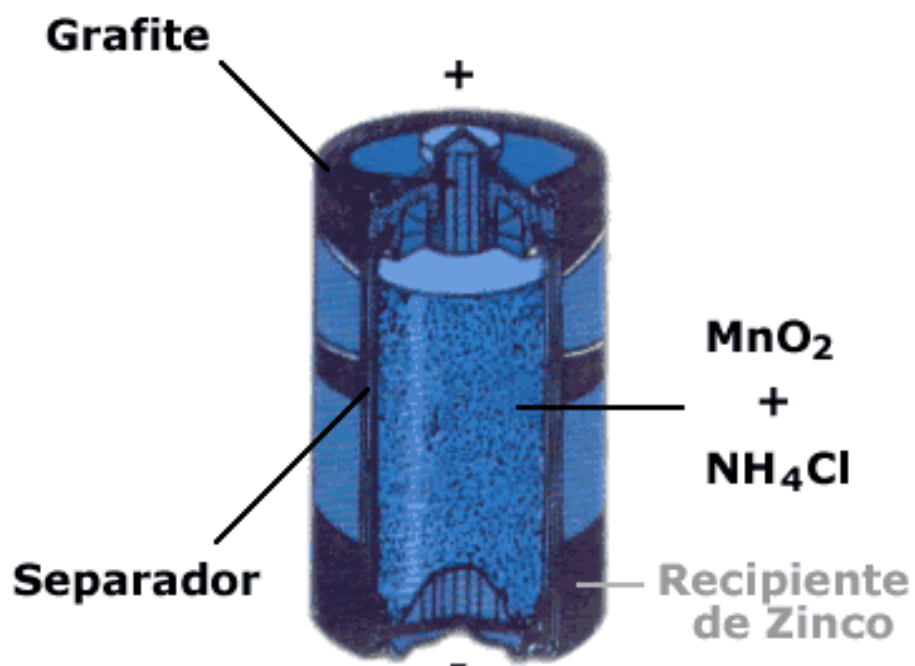
Figura 2.4 - Medição de potencial entre dois metais diferentes



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

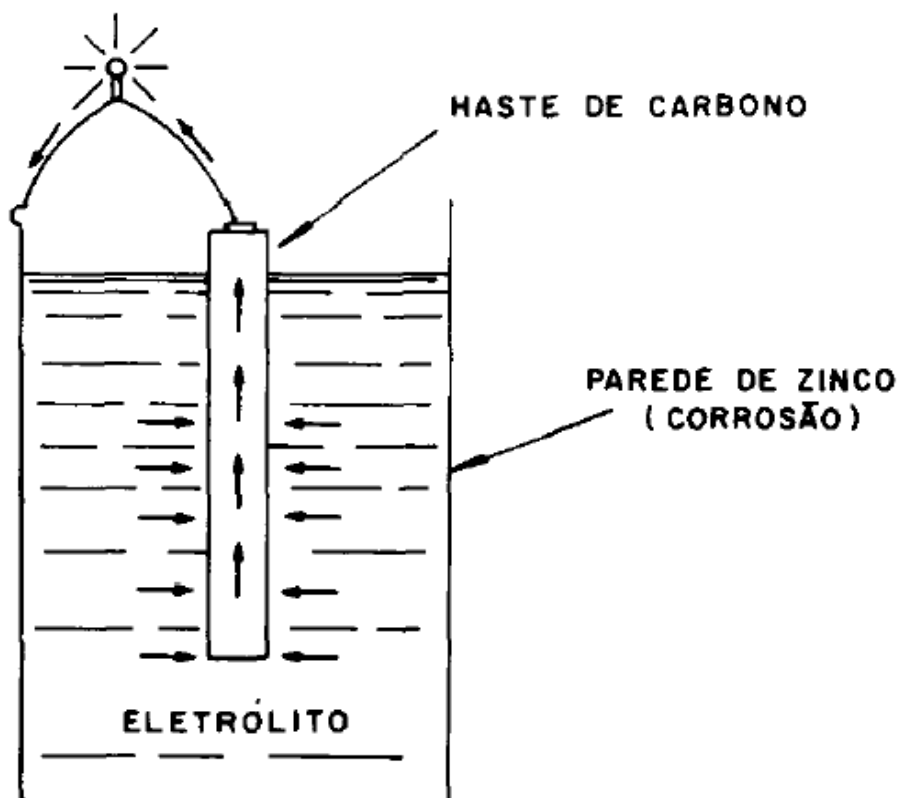
O sentido convencional da corrente se estabelece sempre a partir do metal de potencial mais negativo, através do eletrólito, para o metal de potencial menos negativo (o movimento de elétrons se processa em sentido inverso), formando assim a chamada pilha de corrosão galvânica. Quando isso acontece, o 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, 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/esconnect/medio>>. Acesso em: 8 jun. 2013.

Figura 2.6 - Pilha comum de lanterna



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

Com base nesse raciocínio, extremamente simples, concluí-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

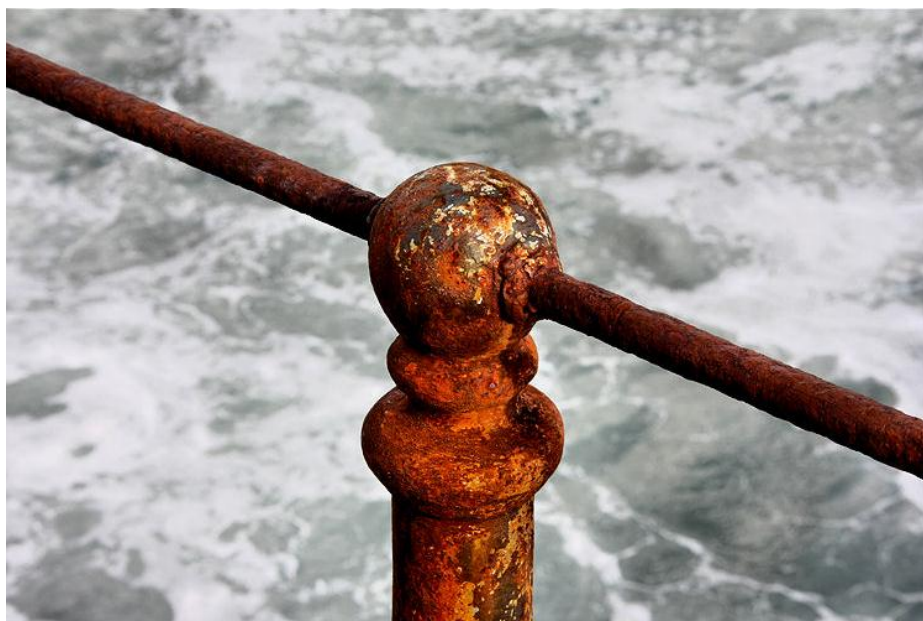
Os aços, largamente utilizados em instalações Industriais, não são homogêneos, possuindo inclusões não metálicas, variações de composição química e tensões internas diferentes resultantes dos processos de conformação e de soldagem. Essas variações fazem com que as superfícies do aço se comportem como 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.drcprestadora.com.br/?pagina=ver-noticia&cod=1>>. Acesso em: 8 jun. 2013.

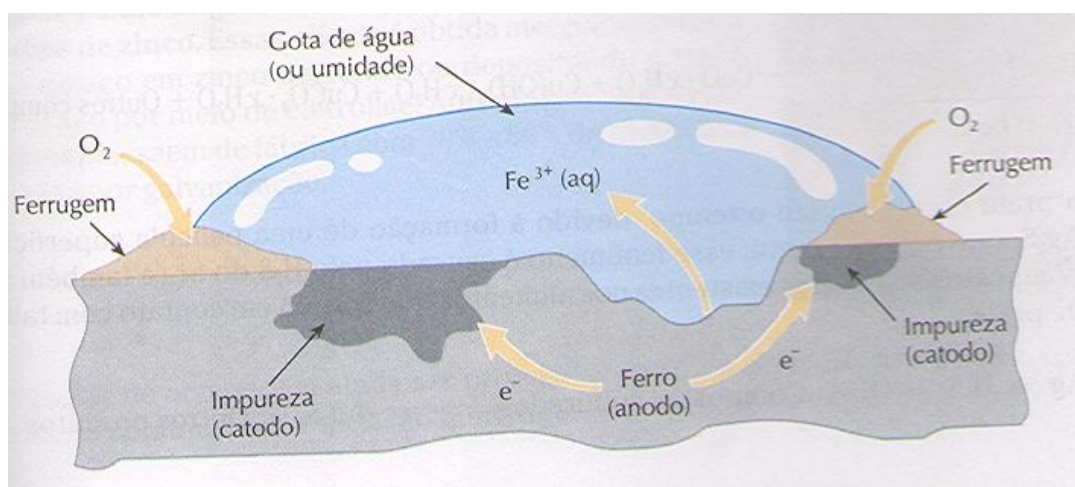
Figura 2.8 - Desgaste por corrosão



Fonte: <<http://ipt.olhares.com/data/big/183/1839011.jpg>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

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>>. Acesso em: 12 jul. 2013.

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 principais causas das pilhas 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 preferencialmente quando 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 minimizados 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 falhas. As correntes de corrosão fluindo através dessas falhas, normalmente em pontos concentrados, contribuem para corrosão localizada, podendo furar a parede metálica.

Figura 2.10 - Pintura com tinta de base protetora



Fonte: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3200-omponentes-de-tintas-industriais/>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

Figura 2.11 - Instalação de fita de revestimento



Fonte: <[http:// www.iecengenharia.com/solucoes/servicos](http://www.iecengenharia.com/solucoes/servicos)>. Acesso em: 8 jun. 2013.

2.3.2 Proteção catódica

O método mais seguro e econômico para a proteção contra a corrosão de instalações metálicas enterradas ou submersas, consiste no uso de um revestimento adequado, com procedimentos qualificados complementado pela proteção catódica. A correta aplicação de um sistema de proteção catódica equivale à obtenção de um revestimento muito eficiente, ou seja, quase 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

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 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 muito eficiente 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 freqüência, 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 baixa 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;

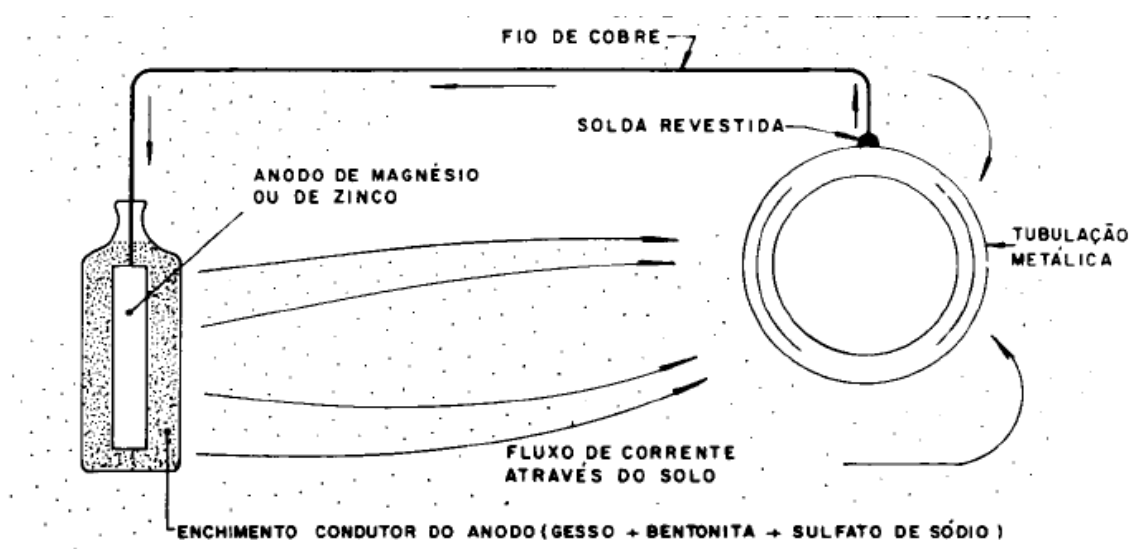
- Raramente aparecerão problemas de interferência com outras instalações metálicas enterradas;
- Os custos de instalação são baixos.

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 2.2.

Figura 2.12 - 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 %).

Quando se dimensiona um sistema de proteção catódica com anodos de sacrifício, uma das primeiras preocupações é o cálculo de sua vida útil, uma vez que em função dela serão considerados os aspectos econômicos para a decisão sobre a sua utilização. A vida útil 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.

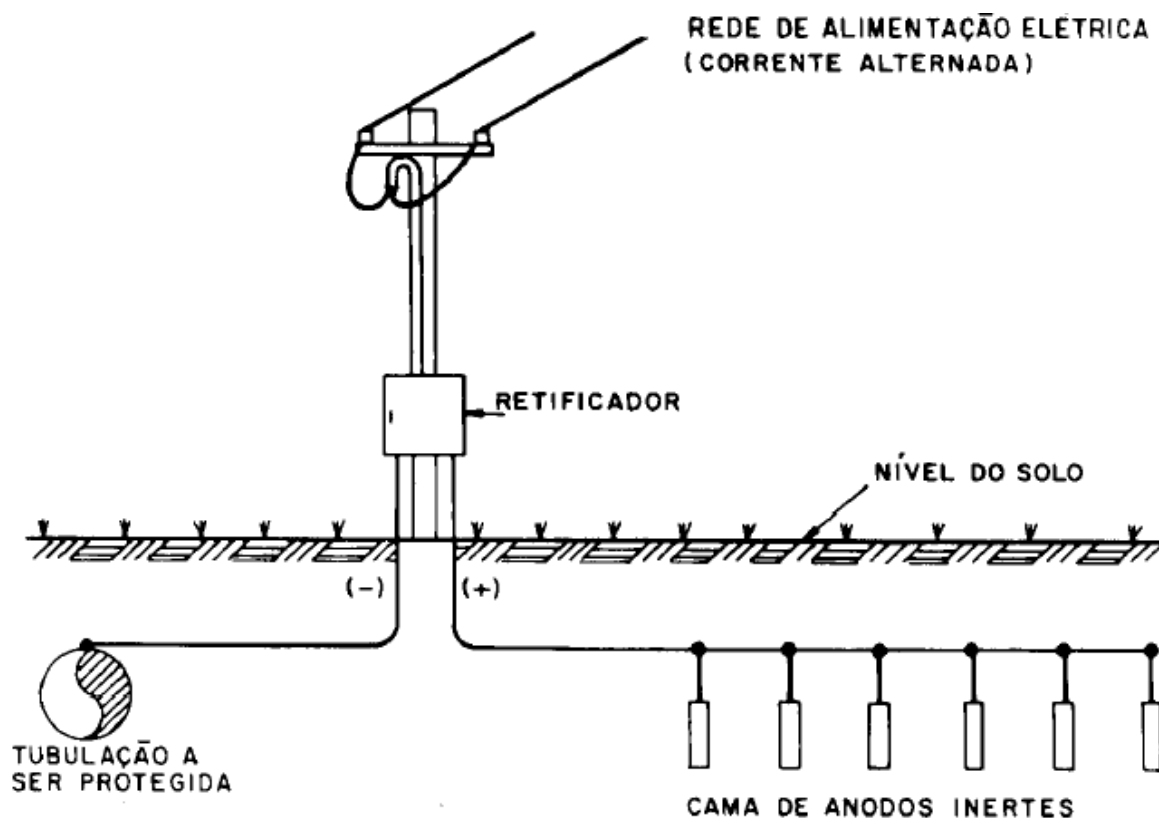
Os anodos galvânicos podem ser instalados isoladamente ou em grupos que recebem o nome de “camas” ou “leitos”. Assim sendo, é necessário determinar a quantidade de corrente que um leito de anodos poderá liberar para a proteção da estrutura. Os principais fatores que influenciam essa determinação são 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, devera 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 utilizadas, 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 2.13 - 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 taps 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.

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.

2.10 Determinação da Condutividade elétrica da água

Segundo a Norma PETROBRAS N-1473 REV. B FEV/2004 a Condutividade Elétrica (K) de um Eletrólito e recíproca da resistência (R), em ohms, de uma coluna líquida de 1 cm^2 de seção (F) e 1 cm de comprimento (L):

$$K = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{F} = R^{-1} cm^{-1} = mho/cm.a.t^{\circ}C \quad (2.2)$$

A unidade é expressa em mho/cm a T°C = “Siemens”/cm a t°C. Os submúltiplos usuais são μmho/cm = μS/cm, mmho/cm = mS/cm.

A condutividade ou condutância específica de uma água mede a sua capacidade de conduzir a corrente elétrica. Determinada no vapor condensado, permite o julgamento de sua pureza, pois representa uma medida direta de substâncias ionizáveis, devidas ao arraste.

A condutividade é o inverso da resistividade elétrica. A água, quimicamente pura, é altamente resistente à passagem da corrente elétrica; por conseguinte, apresenta uma condutividade extremamente baixa.

A condutividade de um eletrólito depende:

- a) da concentração iônica, isto é, da concentração da substância dissolvida e de sua dissociação, ou seja, do grau de atividade do soluto e do solvente;
- b) da carga iônica, isto é, da valência dos íons formados;
- c) da mobilidade iônica, isto é, da temperatura e do peso molecular.

Entende-se que a condutividade não é específica de qualquer íon, mas, uma medida da concentração iônica total.

Conforme a Norma PETROBRAS N-1473 REV. B FEV/2004 a interferências de gases dissolvidos, especialmente o dióxido de carbono e a amônia, aumentam consideravelmente a condutividade. Havendo interesse, como no caso de vapor condensado, fazem-se as correções correspondentes.

Recomenda-se o instrumento, de acordo com a faixa de medida, de preferência aquele cujo ponto médio da escala esteja próximo à região de interesse especial.

A faixa de leituras do instrumento deve ser aferida experimentalmente, comparando as suas respostas com as verdadeiras condutâncias de soluções-padrão de cloreto de potássio, conforme a Tabela abaixo.

Tabela 2.2 - Condutividade de soluções de cloreto de potássio, a 25 °C.

Concentração (M)	Condutividade ($\mu\text{mho/cm}$)	Concentração (M)	Condutividade ($\mu\text{mho/cm}$)
0	-	0,02	2.767
0,0001	14,94	0,05	6.668
0,0005	73,90	0,1	12.900
0,001	147,0	0,2	24.820
0,005	717,8	0,5	58.640
0,01	1.413	1	111.900

Fonte: PETROBRAS N-1473 REV. B FEV/2004.

Segundo a Norma PETROBRAS N-1473 REV. B FEV/2004 para preparação das Soluções-Padrão de Cloreto de Potássio para as soluções 0,01 M e 1 M, deve-se dissolver em água duplamente destilada e recentemente fervida, respectivamente 0,7456g e 74,56g de cloreto de potássio p.a., diluindo a 1 L a 25 °C. Diluir convenientemente essas soluções com a mesma água, a fim de obter demais concentrações. Conservar essas soluções em frascos de vidro neutro, de rolha esmerilhada.

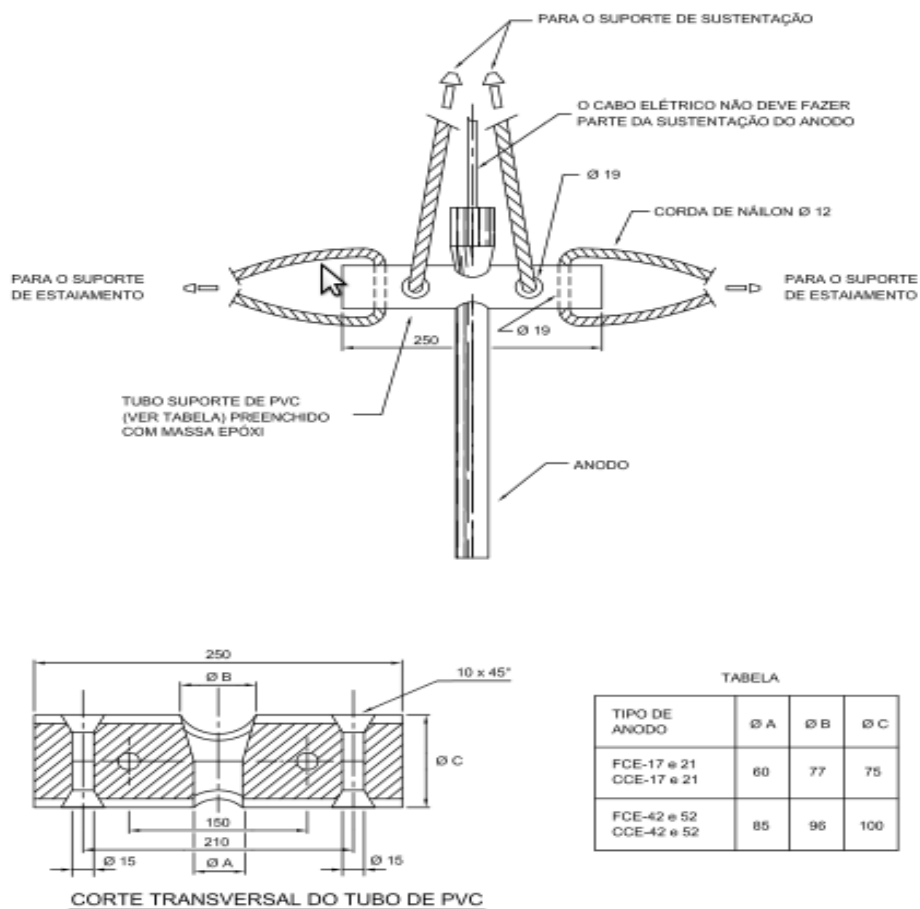
2.11 Instalação de Anodos Galvânicos e Inertes

Conforme mencionado na Norma PETROBRAS N-1473 REV. B FEV/2004, A solda de fixação dos anodos deve ser contínua, não se admitindo soldas intermitentes.

A soldagem dos anodos deve ser executada de acordo com os requisitos de projeto do equipamento, tubulação ou estrutura submersa. Quando houver revestimento na superfície a proteger, deve ser removido somente nos locais de soldagem e após a soldagem, o sistema de revestimento deve ser reparado.

A instalação típica dos anodos suspensos devem ser de acordo com a Figura 2.14 e se aplica aos anodos de tipo FCE e CCE da norma PETROBRAS N-420 e PCE da norma PETROBRAS N-486. O cabo elétrico do anodo deve ter folga suficiente para não fazer parte do sistema de sustentação do anodo.

Figura 2.14 - Anodos inertes suspensos (típico)



Fonte: PETROBRAS N-1643 REV. B NOV/2004.

2.12 Classificação de Anodos Galvânicos e Inertes

Segundo a Norma PETROBRAS N-1719 REV. D FEV/2008, os tipos de anodos devem ser representados por um símbolo composto de 3 letras maiúsculas, seguidas de um número separado por um traço de união [ver alínea a)]. Quando se tratar de anodo contínuo, acrescenta-se uma barra inclinada seguida da letra “m” minúscula, indicativa da abreviação de metro linear.

- a) ZES-10;
- b) ZRS-3,2/m.

Segundo a Norma PETROBRAS N-1719 REV. D FEV/2008 a primeira Letra designa o material do anodo:

- a) Z: liga de zinco;
- b) A: liga de alumínio;
- c) M: liga de magnésio;

- d) G: grafite;
- e) F: liga de ferro-silício;
- f) C: liga de ferro-silício-cromo;
- g) P: liga de chumbo-prata-antimônio.

A segunda Letra designa o formato, seção transversal ou aplicação típica do anodo:

a) E: formato apropriado para casco de embarcações, com a finalidade de reduzir ao mínimo a resistência ao deslocamento na água; usado também em tanques de armazenamento;

b) T: anodo longo com seção transversal trapezoidal, utilizado principalmente em tanques de armazenamento, tanques de lastro, tanques de carga de navios petroleiros, plataformas de perfuração e produção de petróleo;

c) C: anodo longo com seção transversal circular, de formato cilíndrico, podendo ter a cabeça expandida; de utilização geral;

d) Q: anodo longo com seção transversal quadrada, utilizado principalmente em tanques de armazenamento, tanques de lastro, tanques de carga de petroleiros, plataformas de perfuração e produção de petróleo;

e) B: anodo especial, tipo braçadeira, seção transversal “meia cana” utilizado em tubulações submersas;

f) R: anodo longo com seção transversal retangular, utilizado principalmente em serpentinas de resfriamento, feixes de permutadores de calor, caixas de resfriamento;

g) D: anodo em forma de disco apropriado para carretéis de permutadores de calor, tanques de armazenamento e locais de pouco espaço disponível.

A terceira Letra designa o meio de ligação do anodo com a superfície a proteger.

- a) S: ligação soldada através de alma de aço;
- b) P: ligação aparafusada através de alma de aço;
- c) E: ligação por cabo elétrico (soldado ou aparafusado).

A Norma PETROBRAS N-1719 REV. D FEV/2008 dá exemplos de classificação de Anodos Galvânicos.

a) ZES-10: anodo de liga de zinco apropriado para casco de embarcação, ligação soldada através da alma de aço, com 10 kg de massa bruta;

b) AQS-20: anodo de liga de alumínio, seção transversal quadrada, ligação soldada através da alma de aço com 20 kg de massa bruta;

c) FCE-42: anodo de liga de ferro-silício, seção transversal circular, cabeça expandida, ligação por cabo elétrico, com 42 kg de massa bruta;

d) ZRS-3,2/m: anodo contínuo de liga de zinco, seção transversal retangular, ligação soldada através da alma de aço com 3,2 kg/m de massa bruta;

e) ZBE-408: anodo tipo braçadeira, liga de zinco seção transversal “meia cana”, ligação por cabo elétrico, com 408 kg de massa bruta.

2.13 Anodos de Liga de Alumínio

De acordo a Norma PETROBRAS N-1729 REV. D AGO/2006, a composição química dos anodos deve obedecer aos requisitos da Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Composição química dos anodos

Elemento	Porcentagem em Massa
Zn	0,5 % a 5 %
In	0,005 % a 0,1 %
Fe	0,10 % (máximo)
Cu	0,010 % (máximo)

Fonte: PETROBRAS N-1729 REV. D AGO/2006.

Os anodos devem ser ensaiados de acordo com a Norma PETROBRAS N-1733 e apresentar os seguintes critérios de desempenho:

- a) capacidade mínima de corrente de 2 300 A.h/kg;
- b) potencial em circuito fechado sempre igual ou menor que -1,05 V em relação ao do eletrodo de Ag/AgCl₂;
- c) desgaste uniforme.

Nota: O valor de capacidade de corrente especificado na alínea a) não deve ser utilizado para o dimensionamento de sistemas de proteção catódica.

A tolerância unitária de massa é de $\pm 3\%$ para anodos com massa superior a 15 kg e de $\pm 5\%$ para os demais, no entanto a massa total do lote recebido não deve ser inferior a do lote encomendado.

As tolerâncias gerais para as dimensões são as indicadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Tolerâncias gerais para as dimensões de um anodo

Dimensões (mm)	Varição (%)
< 10	± 15
≥ 10 a < 50	± 10
≥ 50 a < 100	± 5
≥ 100	± 1

Fonte: PETROBRAS N-1729 REV. D AGO/2006.

Conforme a Processo de Fabricação da Norma PETROBRAS N-1729 REV. D AGO/2006, o forno para fundição da liga deve ter uma capacidade igual ou superior à massa do anodo a ser fabricado. O vazamento da liga deve ser contínuo, não devendo ser admitidas interrupções na alimentação.

Do processo de fundição dos anodos deve resultar uma liga com perfeita homogeneização dos componentes em toda a extensão de seu corpo. A alma deve ter boa aderência com o corpo do anodo. A superfície de contato do anodo com a sua alma não deve apresentar vazios da ordem de 5 % da área total de contato. As almas fabricadas em tubo de aço-carbono sem costura, devem atender a norma API SPEC 5L, sendo o tubo classificado como “Gr B” (teor de carbono máximo de 0,28 %). Para os demais formatos de almas, o teor máximo de carbono do aço deve ser de 0,22 % e adequados para soldagem a estrutura a ser protegida.

O aço da alma deve ser limpo antes de receber a massa anódica fundida, de modo a ser retirado todo e qualquer resíduo de óleo, de graxa ou de produtos de corrosão. O padrão mínimo de limpeza deve ser o St 3 da norma ISO 8501-1.

Conforme a Norma PETROBRAS N-1729 REV. D AGO/2006 o acabamento dos anodos não devem apresentar empenos ou quaisquer defeitos que prejudiquem a sua utilização.

A superfície dos anodos deve se apresentar uniforme e isenta de:

- a) vestígios de areia de fundição;
- b) marcações a tinta;
- c) inclusões de escória;
- d) gretas;
- e) cavidades;
- f) porosidades ou rebarbas.

Os rechupes não podem exceder aos limites indicados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Limites dos rechupes

Espessura do Anodo (mm)	Máxima Profundidade de Rechupe Aceitável (mm)
≤ 20	2
21 a 50	5
51 a 100	8
≥ 100	12

Fonte: PETROBRAS N-1729 REV. D AGO/2006.

Nota: Os rechupes não podem ser preenchidos com escória do metal fundido.

As trincas, se existentes, na superfície dos anodos, não podem exceder aos seguintes limites:

- a) largura máxima de 2 mm;
- b) o somatório do comprimento das trincas não deve exceder a 100 mm para cada 1 000 mm de comprimento de anodo;
- c) a profundidade não deve exceder a metade da distância entre a superfície do anodo e a sua alma, para trincas com largura entre 0,2 mm e 2 mm.

2.14 Dimensionamento de Proteção Catódica Galvânica de Plataforma Marítima Fixa

A Norma PETROBRAS N-1813 REV. D 03/2008 fixa os requisitos mínimos a serem observados no projeto de sistema de proteção catódica por corrente galvânica para plataformas marítimas metálicas fixas de produção de petróleo, incluindo os “risers”.

A Norma PETROBRAS N-1813 REV. D 03/2008 define os critérios gerais de projeto onde devem ser consideradas, no dimensionamento, todas as áreas submersas, todas as áreas das partes enterradas e, no mínimo, 50 % das áreas correspondentes à zona de transição.

Os valores de eficiência de revestimento devem considerar todos os fatores inerentes à especificação, ao controle de qualidade de aplicação e a possíveis danos durante o lançamento. A vida útil prevista para o sistema de proteção catódica deve ser igual à prevista para toda a plataforma. Esta vida útil pode ser diferente quando especificada pela PETROBRAS.

O sistema de proteção catódica deve ser dimensionado utilizando anodos de liga de alumínio de acordo com a PETROBRAS N-1729, com capacidade de corrente de 2 200 A.h/kg do tipo ATS, com fator de utilização de 90%.

Segundo a Norma PETROBRAS N-1813 REV. D 03/2008 a capacidade de corrente superior a 2 200 A.h/kg só pode ser utilizada para anodos de alumínio, quando submetidos a ensaios de curta e longa duração que determinem com confiabilidade esta nova capacidade de corrente. A resistividade elétrica do eletrólito deve ser definida em função do local da instalação da plataforma.

Os anodos selecionados para a jaqueta devem ser distribuídos de modo a atender uma área de 30 m² a 60 m² por anodo e de forma proporcional às intensidades de corrente das partes submersas e enterradas, devendo os anodos referentes às superfícies enterradas serem previstos na parte inferior da jaqueta.

As dimensões iniciais dos anodos devem ser, tais que, cada anodo seja capaz de injetar, no mínimo, a corrente inicial das áreas submersas, enterradas e dos “risers”, dividida pelo número de anodos determinados, respectivamente, para cada uma destas áreas.

Com as dimensões reduzidas, cada anodo deve ser capaz de injetar, no mínimo, a corrente final das áreas submersas, enterradas e dos “risers”, dividida pelo número de anodos determinados, respectivamente, para cada uma destas áreas. A estrutura da plataforma, acessórios e “risers” devem atingir, em todas as partes, potenciais iguais ou mais negativos que - 0,80 V em relação ao eletrodo de Ag/AgCl.

Os anodos de liga de alumínio devem atender aos requisitos da PETROBRAS N-1729. A inspeção dos anodos deve ser efetuada de acordo com a PETROBRAS N-1879.

2.15 Distribuição e Instalação dos Anodos

Conforme a Norma PETROBRAS N-1813 REV. D 03/2008 a distribuição dos anodos deve atender o previsto no item 4.10 da referida norma, devendo-se distribuí-los desde a maré mínima até o fundo do mar.

Os anodos destinados à proteção das superfícies enterradas devem ser distribuídos na parte inferior da jaqueta. Os anodos destinados à proteção dos condutores devem ser localizados nas mesas, próximas às guias dos condutores.

A fixação dos anodos deve ser por soldagem e de acordo com a PETROBRAS N-1643.

2.16 Sistema de Monitoramento

De acordo com a Norma PETROBRAS N-1813 REV. D 03/2008 o sistema de monitoração de potencial e/ou corrente drenada pelos anodos, deve conter:

- a) localização dos eletrodos de referência;
- b) localização dos anodos selecionados para medição de corrente;
- c) localização dos tubos para condução de cabos oriundos dos eletrodos de referência e anodos monitorados;
- d) painel com instrumentos para medição de corrente com precisão superior a 1 % no fim da escala e com instrumentos para medição de potencial com resistência interna superior a 500 000 ohm/volt.

Devem ser apresentados os critérios para localização e determinação do número de eletrodos de referência e de anodos monitorados. Deve ser apresentada uma especificação técnica contendo as principais características técnicas do painel de instrumentos.

2.17 Inspeção de Anodos Galvânicos

A Norma PETROBRAS N-1879 REV. A JUN/2002 define os critérios para recebimento de lotes de Anodo com Massa Inferior a 50 kg analisando a quantidade de corridas consecutivas necessárias à fabricação de anodos correspondente ao lote de encomenda.

A Identificação de Anodos com massa superior a 50 kg devem ser numerados seqüencialmente e individualmente obedecendo a ordem de fabricação, já os anodos com massa inferior a 50 kg, provenientes de uma mesma corrida, devem ser grupados e o grupo identificado pelo número da corrida. Os anodos referidos devem ser marcados, de forma clara e visível no ponto médio da superfície lateral.

Conforma a Norma PETROBRAS N-1879 REV. A JUN/2002 as características e serem verificadas na inspeção de qualidade de um lote de recebimento são:

Tabela 2.6 - Classificação dos defeitos

Característicos	Classificação dos Defeitos	Meios de Comprovação	Local de Realização
Composição química	Crítico	Análise química	Em laboratório a ser determinado pela PETROBRAS
Desempenho do anodo (para anodos de alumínio)	Crítico	Ensaio de laboratório	
Massa	Grave	Balança	Fábrica
Acabamento da superfície	Tolerável	Visual	Fábrica
Dimensão	Tolerável	Instrumento de Medição	Fábrica

Fonte: PETROBRAS N-1879 REV. A JUN/2002.

A análise química deve ser feita pelo método de espectrometria de fluorescência de raio-X. Para efeito de verificação da composição química do anodo, devem ser analisados e verificados os elementos químicos constantes da especificação e mais aqueles constantes da proposta técnica do fabricante.

Segundo a norma PETROBRAS N-1879 REV. A JUN/2002 no plano de amostragem para o característico desempenho do anodo deve ser utilizada a inspeção por variáveis, para os demais deve ser utilizada a inspeção por atributos.

Os seguintes níveis de inspeção e níveis de qualidade aceitáveis, constantes na Tabela 2.7 abaixo são adotados conforme norma ABNT NBR 5426.

Tabela 2.7 - Nível de inspeção e de qualidade adotado

Característico da Qualidade	Nível de Inspeção	NQA %
Composição química	II	1
Desempenho do anodo	S4	1
Massa	S4	10
Dimensão	S1	4
Acabamento da superfície	S4	10

Fonte: PETROBRAS N-1879 REV. A JUN/2002.

O tamanho da amostra (Tabela 2.8) e a aceitação ou rejeição dos lotes referentes as características de qualidade inspecionadas por atributos, foram definidos com base na norma ABNT NBR 5426, com as seguintes condições:

- a) tipo de amostragem: simples (única);
- b) nível de inspeção;

- c) categoria: normal;
- d) NQA's.

Tabela 2.8 – Tamanho da amostra

Característico	Tamanho do Lote de Recebimento	Tamanho da Amostra	Quantidade Máxima Permitida de Anodos Defeituosos para Aceitação do Lote
Composição química	13 a 150	13	0
	151 a 500	50	1
	501 a 1 200	80	2
	1 201 a 3 200	125	3
Dimensão	3 a 3 200	3	0
Acabamento da superfície e massa	5 a 90	5	1
	91 a 150	8	2
	151 a 500	13	3
	501 a 1 200	20	5
	1 201 a 3 200	32	7

Fonte: PETROBRAS N-1879 REV. A JUN/2002.

Nota: Para tamanho de lotes menor ou igual ao tamanho da amostra, fazer inspeção 100 %.

Para o característico desempenho do anodo inspecionado por variáveis, o tamanho da amostras e a aceitação ou rejeição dos lotes devem ser feitas conforme indicado a seguir:

- a) tamanho do lote: 13 a 1 200;
- b) tamanho da amostra: 9;
- c) percentagem defeituosa máxima: 3,09.

O cálculo da percentagem defeituosa do lote deve ser feito conforme especificado na norma ABNT NBR 5429 em seu Plano de Amostragem de Variabilidade Desconhecida e Método de Desvio Padrão, ou a critério do inspetor.

2.18 Montagem de Sistema de proteção Catódica Galvânica em Plataformas Marítimas

Segundo a Norma PETROBRAS N-1988 REV. B 05/2008 a distribuição dos anodos sobre a estrutura deve ser conforme determinado nos desenhos de projeto.

A Norma PETROBRAS N-1988 REV. B 05/2008 menciona que os anodos devem ser instalados sobre a estrutura antes do içamento de cada painel, que a fixação dos anodos deve ser efetuada por meio de cordão de soldas contínuo, não se admitindo soldas descontínuas.

Nas regiões de soldagem da alma do anodo à estrutura deve-se efetuar a remoção do revestimento anticorrosivo, se existente, e esmerilhar e/ou escovar a superfície até se obter padrão de limpeza equivalente, no mínimo, ao St 3 da ISO 8501-1.

Após o posicionamento do anodo e a preparação das superfícies que vão receber a solda, esta deve ser efetuada e de acordo com procedimento e pessoal qualificados. A chapa de apoio, quando necessária, deve ser montada no campo. Após a soldagem, o esquema de revestimento, quando existente, deve ser reparado segundo o original.

A Norma PETROBRAS N-1988 REV. B 05/2008 trata, também, da inspeção antes e depois da Soldagem dos Anodos. Antes da soldagem dos Anodos deve-se medir a distância entre regiões adjacentes da estrutura já limpas e que vão receber a solda de fixação dos anodos. Medir a posição angular do anodo relativamente à posição prevista nos desenhos de projeto. Depois da soldagem dos Anodos deve-se medir a distância entre as soldas da alma de anodos adjacentes. Medir o posicionamento angular dos anodos em relação ao previsto nos desenhos de projeto. Inspeccionar as soldas de fixação dos anodos na estrutura, quanto às suas dimensões e eventuais defeitos de soldagem, conforme o prescrito no procedimento de soldagem qualificado de montagem da estrutura.

A Norma PETROBRAS N-1988 REV. B 05/2008 define os critérios para Aceitação e Rejeição dos Anodos, admite-se uma tolerância de ± 100 mm nas distâncias entre as regiões adjacentes da estrutura já limpas e que vão receber a solda de fixação dos anodos, bem como, na distância entre as soldas de fixação de dois anodos adjacentes após a soldagem.

O posicionamento angular dos anodos deve ter uma tolerância de $\pm 5^\circ$. A solda de fixação dos anodos não deve coincidir com as soldas dos elementos estruturais, devendo distar, no mínimo, de 150 mm. Os critérios de aceitação e rejeição para as soldas dos anodos na estrutura são aqueles constantes do procedimento de soldagem qualificado.

2.19 Projeto de sistemas de proteção catódica por corrente galvânica – Bóias e Monobóias

Deve ser considerada, no dimensionamento, toda a área submersa, incluindo cabos de aço, amarras, acessórios e apêndices, quando ligados eletricamente a bóia ou monobóias.

Nota: Nos casos das amarras ou dos cabos de aço deve ser prevista uma área limitada pelo comprimento de 300 m.

A densidade de corrente de proteção deve ser estabelecida em função do local da instalação e da experiência do projetista. Deve ser considerado valor de densidade de corrente usado com sucesso em bóias, monobóias e outros equipamentos instalados na região.

O valor de eficiência média do revestimento deve considerar todos os fatores inerentes à especificação, ao controle de qualidade de aplicação e a possíveis danos durante o transporte e lançamento.

O sistema de proteção catódica deve ser dimensionado utilizando anodos de liga de alumínio ou de zinco de acordo com as normas PETROBRAS N-1729 ou N-1732, respectivamente.

Os anodos de liga de alumínio devem ser do tipo AES ou AQS, de acordo com a norma PETROBRAS N-1729, com capacidade de corrente de 2 200 A.h/kg e com fator de utilização de 85 % para o tipo AES e de 90 % para o tipo AQS.

Os anodos de liga de zinco devem ser do tipo ZES ou ZQS, de acordo com a norma PETROBRAS N-1732, com capacidade de corrente de 740 A.h/kg e com fator de utilização de 85 % para o tipo ZES e de 90 % para o tipo ZQS.

O potencial eletroquímico do equipamento deve atingir, em toda a superfície metálica submersa, valor igual ou mais negativo que - 0,80 V, em relação ao eletrodo de Ag/AgCl, medido segundo a norma PETROBRAS N-1814.

A resistividade elétrica do eletrólito deve ser definida em função do local da instalação da bóia ou monobóia.

Os anodos selecionados para a bóia ou monobóia devem ser distribuídos de modo a atender a uma área de 10 m² a 20 m² por anodo.

2.19.1 Materiais

Os anodos de liga de Al ou de liga de Zn devem atender aos requisitos das normas PETROBRAS N-1729 ou N-1732, respectivamente.

2.19.2 Dimensionamento

Deve ser estabelecida à densidade de corrente de proteção (D), a eficiência do revestimento (E), a vida útil prevista para o sistema de proteção catódica (V) e a área submersa (S) conforme indicado no Capítulo 4.

A corrente elétrica requerida (I) é dada pela fórmula:

$$I = [Sb(1 - E) + Sa] D \quad (2.3)$$

Onde:

Sb = área submersa com revestimento, em m;

Sa = área submersa sem revestimento, em m²;

D = densidade de corrente de proteção, em A/m²;

E = eficiência do revestimento em fração decimal de 0 a 1.

A massa (M) requerida para proteção é dada pela seguinte fórmula:

$$M = \frac{8.760 \cdot I \cdot V}{C \cdot Fu} \quad (2.4)$$

Onde:

M = massa requerida para proteção catódica do sistema, em kg;

V = vida útil do sistema, em anos;

I = corrente requerida, em A;

C = capacidade de corrente, em A.h/kg;

Fu = fator de utilização, em fração decimal.

Determinar a corrente drenada (I) pelos anodos selecionados pela seguinte expressão:

$$I' = n \cdot \frac{0,25}{R} \quad (2.5)$$

Onde:

I = corrente drenada pelos anodos, em A;

n = número de anodos;

R = resistência de contato anodo-eletrólito, em Ω .

A resistência de contato (R) é dada pela fórmula:

a) para anodos tipo AES ou ZES:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot L} \quad (2.6)$$

Onde:

ρ = resistividade do eletrólito, em $\Omega \cdot m$;

L = comprimento inicial equivalente do anodo, em m, definido como a metade da soma das 2 maiores dimensões do anodo, em m.

b) para anodos tipo AQS ou ZQS:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left[\ln \frac{4L}{r} - 1 \right] \quad (2.7)$$

Onde:

ρ = resistividade do eletrólito, em $\Omega \cdot m$;

L = comprimento inicial, em m;

r = raio equivalente inicial do anodo, em m.

O valor de r é calculado com as dimensões iniciais dos anodos da norma PETROBRAS N-1729, sendo que r é dado pela seguinte expressão:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.8)$$

Onde:

A = área inicial da seção transversal do anodo em m.

A corrente calculada no item 6.5 da norma deve ser comparada com a calculada no item 6.2 da mesma norma, devendo atender ao seguinte requisito:

$$I' = 1,1 \geq I \quad (2.9)$$

2.19.3 Distribuição e instalação dos anodos

Os anodos devem ser distribuídos sobre a superfície submersa da bóia ou monobóia, procurando-se obter a melhor distribuição de corrente possível. Os anodos devem ser fixados por meio de parafusos em suportes soldados no equipamento. Deve ser garantida continuidade elétrica através de pontos de solda.

2.20 Sistema de proteção catódica por corrente galvânica de plataforma Semisubmersível

2.20.1 Critérios gerais de projeto

Deve ser considerada, no dimensionamento, toda a área submersa da plataforma no calado de operação, incluindo cabos de aço, amarras e acessórios, quando ligados eletricamente à plataforma.

Nota: Para as amarras e/ou cabos de aço considerar uma área correspondente a 300 m de comprimento das amarras e/ou cabos.

A vida útil prevista para o SPC deve ser igual à definida para a plataforma. Esta vida útil pode ser diferente em função do tipo de operação (perfuração ou produção) e frequência estimada para docagens. As densidades de corrente devem ser definidas em função dos locais de operação da plataforma, da experiência do projetista e da vida útil prevista para o SPC.

A resistividade elétrica do eletrólito deve ser definida em função dos locais de operação da plataforma. O SPC deve ser dimensionado utilizando-se anodos de alumínio de acordo com a norma PETROBRAS N-1729, com capacidade de corrente de 2 200 A.h/kg e fator de utilização de 90 % para os do tipo AQS e 85 % para os do tipo AES.

Capacidades de corrente superiores a 2 200 A.h/kg só podem ser utilizadas para anodos de alumínio que forem submetidos a ensaios de curta e longa durações que determinem, com confiabilidade, esta nova capacidade de corrente.

Os anodos selecionados para a plataforma devem ser distribuídos de modo a atender a uma área de 10 m² a 20 m² por anodo. As dimensões iniciais dos anodos devem ser tais que cada anodo seja capaz de injetar, no mínimo, a corrente inicial dividida pelo número de anodos.

Com as dimensões reduzidas, cada anodo, deve ser capaz de injetar, no mínimo, a corrente final dividida pelo número de anodos. A estrutura submersa da plataforma deve atingir em toda sua superfície potenciais mais negativos que -0,80 V, em relação ao eletrodo de Ag/AgCl, ou inferiores a +0,25 V, em relação ao eletrodo de zinco.

Os valores de eficiência do revestimento devem considerar todos os fatores referentes à especificação, ao controle de qualidade da aplicação e ao período de docagem.

2.20.2 Materiais

Os anodos de liga de alumínio devem atender a norma PETROBRAS N-1729. Os eletrodos de referência devem ser fabricados com zinco de alta pureza (99,99 %), conforme a norma PETROBRAS N-1732.

A inspeção dos anodos deve ser efetuada de acordo com a norma PETROBRAS N-1879.

2.20.3 Dimensionamento

Estabelecer as densidades de corrente, a vida útil prevista para o sistema e definir a resistividade elétrica do eletrólito.

Calcular a corrente inicial (I_i) pela seguinte fórmula:

$$I_i = S_{sr}.D_i + S_r.D_i(1 - E_i) \quad (2.10)$$

Onde:

I_i = corrente inicial, em A;

S_{sr} = área da superfície a proteger sem revestimento, em m²;

S_r = área da superfície a proteger com revestimento, em m²;

D_i = D densidade de corrente inicial, em A/m²;

E_i = E eficiência inicial do revestimento.

Calcular a corrente média (I_m), pela seguinte fórmula:

$$I_m = S_{sr}.D_m + S_r.D_m(1 - E_m) \quad (2.11)$$

Onde:

I_m = corrente média, em A;

S_{sr} = área da superfície a proteger sem revestimento, em m²;

S_r = área da superfície a proteger com revestimento, em m²;

D_m = densidade de corrente média, em A/m²;

E_m = eficiência média do revestimento.

Calcular a corrente final (I_f), pela seguinte fórmula:

$$I_f = S_{sr}.Df + S_f.Df(1 - E_f) \quad (2.12)$$

Onde:

I_f = corrente final, em A;

S_{sr} = área da superfície a proteger sem revestimento, em m²;

S_r = área da superfície a proteger com revestimento, em m²;

Df = densidade de corrente final, em A/m²;

E_f = eficiência média do revestimento.

Calcular a massa anódica requerida pela seguinte fórmula:

$$M = \frac{8.760. I_m . V}{C . F_u} \quad (2.13)$$

Selecionar os anodos de acordo com os tipos AQS e AES indicados na norma PETROBRAS N-1729 e determinar o número de anodos de forma a atender o item 6.5 da norma e ao critério de distribuição previsto no item 4.7 da mesma norma.

Determinar a corrente inicial drenada (I_i) para cada tipo de anodo selecionado, pela fórmula abaixo:

$$\bar{I}_i = \frac{0,25}{R_i} \quad (2.14)$$

Onde:

\bar{I}_i = corrente inicial drenada, em A;

R_i = resistência inicial de contato anodo-eletrólito, em ohm.

O valor de (R_i) é calculado por meio da seguinte fórmula, para anodos do tipo AQS:

$$R_i = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_i} \left[\ln \left(\frac{4L_i}{r_i} \right) - 1 \right] \quad (2.15)$$

Onde:

ρ = resistividade elétrica do eletrólito, em ohm.m;

L_i = comprimento inicial do anodo, em m;

r_i = raio equivalente inicial do anodo, em m;

O valor de (R_i) é calculado por meio da seguinte fórmula, para anodos do tipo AES:

$$R_i = \frac{\rho}{2.L_{ii}} \quad (2.16)$$

Onde:

ρ = resistividade elétrica do eletrólito, em ohm.m;

L_i = comprimento inicial do anodo, em m;

r_i = raio equivalente inicial do anodo, em m;

L_{ii} = a média entre comprimento e a largura inicial do anodo, em m.

O valor de (R_i) é calculado com as dimensões do anodo estabelecidas na norma PETROBRAS N-1729, sendo que (r_i) é dado por meio da seguinte expressão:

$$R_i = \sqrt{\frac{A_i}{\pi}} \quad (2.17)$$

Onde:

r_i = raio equivalente inicial do anodo, em m;

A_i = área inicial da seção transversal do anodo, em m².

Determinar corrente final drenada (I_{fs}) para cada anodo pela fórmula abaixo:

$$\bar{I}_f = \frac{0,25}{R_f} \quad (2.18)$$

Onde:

I_f = corrente final drenada, em A;

R_f = resistência final de contato anodo-eletrólito, em ohm, calculada por meio das seguintes fórmulas:

Para anodo do tipo AQS:

$$Rf = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot Lf} \left[\ln \left\langle \frac{4 \cdot Lf}{rf} \right\rangle - 1 \right] \quad (2.19)$$

Nota:

O valor de (Rf) é calculado com as dimensões reduzidas dos anodos ao final da vida útil do sistema, considerando-se um fator de utilização de 90 % e ainda uma redução de comprimento de 1 % para cada 10 % de redução de volume do anodo. As dimensões reduzidas são obtidas da seguinte forma:

- Comprimento final (Lf)

$$Lf = 0,910 \cdot Li \quad (2.20)$$

Onde:

Li = comprimento inicial do anodo, em m.

-Raio equivalente final (rf)

$$rf = \sqrt{\frac{Af}{\pi}} \quad (2.21)$$

Onde:

Af = área final, em m², da seção transversal ao final da vida dos anodos, obtida pela soma do volume da alma do anodo com 10 % do volume inicial do material da liga do anodo, dividido pelo comprimento final do anodo;

Rf = raio equivalente final, em m.

b) para anodo do tipo AES

$$Rf = \frac{\rho}{2 \cdot Lii} \quad (2.22)$$

A corrente final drenada pelo anodo deve ser igual ou superior a corrente final calculada.

2.21 Distribuição dos anodos

A distribuição dos anodos não deve causar problemas durante intervenções e a operação do equipamento. A distribuição dos anodos deve ser tão uniforme quanto possível e deve ser evitada a instalação de anodos em regiões confinadas, nas quais apenas uma face do anodo deve operar em condições adequadas para a proteção catódica do equipamento.

Uma massa maior de anodos deve ser instalada junto a componentes de aço inoxidável, ligas nobres e revestimentos metálicos nobres, pois estes componentes de modo geral não são revestidos e necessitam, para sua polarização, de uma densidade de corrente inicial maior.

Compartimentos fechados e não estanques devem ser internamente protegidos, ou seja, devem ser instalados anodos em seu interior. Devem ser previstas aberturas para saída dos produtos de corrosão dos anodos.

Em casos especiais e para estruturas muito complexas, as quais são compostas de diversos componentes e materiais dissimilares, pode ser necessária a utilização de programas computacionais, baseados em elementos de contorno, para verificar a melhor distribuição de corrente.

2.22 Teste de continuidade elétrica do sistema de proteção catódica

Todo e qualquer item do equipamento deve ter, obrigatoriamente, que estar eletricamente interligado ao sistema de proteção catódica.

Nos casos em que a continuidade elétrica for garantida por intermédio de parafusos, devem-se utilizar arruelas serrilhadas em sua montagem. No caso de componentes móveis (hastes etc.), onde podem ocorrer dificuldades na manutenção da continuidade elétrica, deve ser prevista a instalação de cordoalhas de aço inox ou cobre interligando estes componentes.

A continuidade elétrica entre os anodos e a estrutura deve ser testada e a resistência entre cada componente e a estrutura ou anodo mais próximo não pode ser superior a 1 ohm (a resistência do cabo do multímetro não está incluída neste valor).

3. METODOLOGIA

3. METODOLOGIA

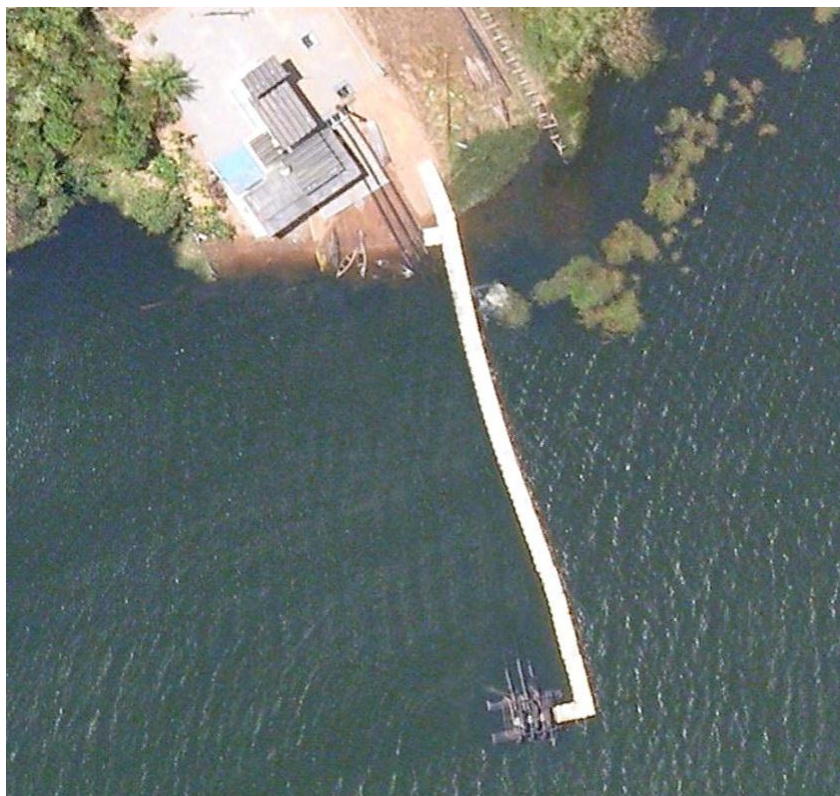
3.1 Área de Estudo

Estação de Bombeamento Gavião/Adutora do Acarape (EB Gavião)

Localização

A estação elevatória do sistema Gavião para a Adutora do Acarape fica localizada a aproximadamente 19 km de Fortaleza, com acesso pelo anel viário da via BR-116.

Figura 3.1 – Estação de Bombeamento Gavião.



Fonte: Google Earth (09/08/2012, 15:15 hs). Coordenadas 24M – 0547344; UTM – 9568066

Dados técnicos do Açude Gavião

Dados técnico básicos do sistema de bombeamento Gavião/Acarape:

- Vazão máxima do sistema 1.560 m³/h;
- 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;
- Sistema de automação local e remoto.

Cidades, distritos e indústrias que podem ser abastecidas pelo sistema Acarape/Gavião, totalizando aproximadamente 50 consumidores:

Cagece Maranguape - UNBME, Cagece Pavuna, Empresa Santo Antônio Ltda, Marisol SA, Cervejarias Kaiser Brasil SA, Vitória Pub. e Invest Ltda, Rvnor Industria e Comercio Bebidas, Asfalto Nordeste Ltda, Bermas Maracanaú Ind. Com. de Couro, Celena Cia. Eletrocerâmica, Cobap Com. e Benef. De Papel Ltda, Cotece Cia. Têxtil do Ceará, Cotece SA, TBM Textil Bezerra de Menezes SA, Risset Nordeste Ltda, Fiotex Industrial SA, Gerdau Aço Longos SA, Isoplast Ind. Com. de Plástico Ltda, Cia. Metalic do Nordeste, Norsa Refrigerantes Ltda – coca-cola, Textil União SA, Vicunha Textil SA- unidade 5, Vicunha Nordeste – unidade 1, Von Roll do Brasil Ltda, Yoshida Nordeste SA, Durametal SA, Esmaltec SA, Tecelagem Alphatex Ltda, Pelágio Oliveira SA, Ipiranga Asfalto SA, Nufarm Ind. Química e Farmaceutica SA, Tintas Hidracor SA, Osasuna Participações Ltda, WF Proj. Calc. e Construção Ltda, Sil Investimentos mobiliários Ltda, Arias Ind. Com. Exp. e Imp. Ltda, Pole Alimentos Ltda, Imap Ind. Bras. De Artefatos Plásticos, Rihomo Ind. e Com. de Confeções, Reisce Reciclagem Ind. Subprodutos, Emam- Emulsões e Transportes Ltda, Permallex Industria e Comercio Ltda, Dakota Nordeste SA, Danone Ltda, Tbm Textil Bezerra de Menezes SA, Destak Empreendimentos, Brasquimica Produtos Asfálticos Ltda, Processa Beneficiamento de materiais, Pacel – Papel Cartão e Embalagens Ltda, Hidrotintas – Industria e Comercio.

Foi realizado testes e medições em campo para se obter:

- Corrente necessária à proteção (injeção de corrente);
- Medição do potencial natural (estrutura / eletrólito);
- Características químicas da água (condutividade, PH, etc...);
- Dimensões e forma da estrutura flutuante.

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.

Foto 3.1 - Estrutura metálica a ser protegida



Com base nessas informações obtidas em campo, foi possível realizar todos os cálculos para determinação dos equipamentos adequados para a proteção. Foi calculada a eficiência real do revestimento da estrutura e efetivada a proteção pelo método de corrente impressa.

No presente trabalho será adotado as Normas da Petrobras referentes a sistemas de Proteção Catódica, conforme lista na referencia bibliográfica.

Levantamento de dados das instalações a proteger:

1) Condutividade elétrica da água;

Conforme Norma Petrobras N-1473, Determinação da Condutividade Elétrica de Águas, REV.B de FEV/2004, a qual determina o modo da determinação da condutividade elétrica em uma água.

Segundo a Norma Petrobras N-1473 a condutividade elétrica (K) de um eletrólito é recíproca da resistência (R), em ohms, de uma coluna líquida de 1 cm² de seção (F) e 1 cm de comprimento (L):

$$K = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{F} = R^{-1} cm^{-1} = mho/cm \cdot a \cdot t^{\circ}c \quad (2.2)$$

A unidade é expressa em moh/cm a T°C = “Siemens”/cm a t°C. Os submúltiplos são $\mu S/cm$, mmho/cm = mS/cm.

Conforme a Norma Petrobras N-1473, Determinação da Condutividade Elétrica de Águas, REV.B de FEV/2004, a condutividade é o inverso da resistividade elétrica.

O Aparelho (condutivímetro) foi aferido Norma Petrobras N-1473, Determinação da Condutividade Elétrica de Águas, REV.B de FEV/2004, e feito o procedimento de coleta e leitura do parâmetros de condutividade elétrica da água conforme indicado na Norma.

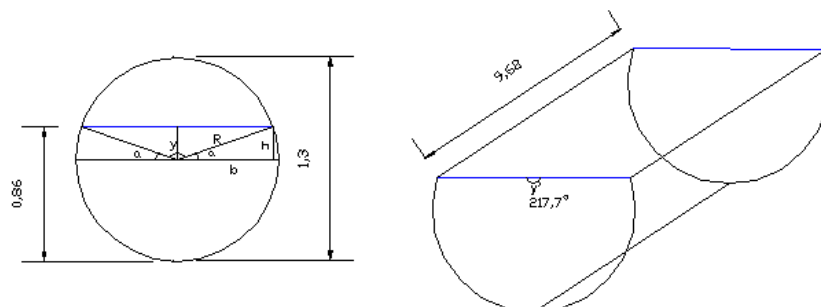
Os trabalhos de aferição, coleta e análise dos resultados contou com a participação da Química Industrial, Francimeyre Freire Avelino, CRQ nº 10.203.126 – 10º região. Nas medições foi utilizado o equipamento HACH modelo MP-4.

Foram adotados todos os procedimentos da Norma Petrobras N-1473, Determinação da Condutividade Elétrica de Águas, REV.B de FEV/2004.

2) Levantamento das demissões físicas da estrutura semisubmersível a proteger, bem como sua estrutura e materiais;

Foram realizadas as medições das duas câmaras semisubmersível da estação de bombeamento, bem como estimado a área das correntes, crivos e demais componentes em contato direto com o eletrólito. Foram coletadas informações de projeto do sistema semisubmersível a fim de se obter as dados referentes ao tipo de aço usado na construção e tipo de pintura aplicada.

Figura 3.2 - Estrutura metálica em contato com o eletrólito



3) Teste de injeção de corrente;

Não existir procedimentos para realizar o teste de injeção de corrente em estruturas semisubmersível em água doce sendo usado como instrução normativa a Norma Petrobras N-2245, Levantamento de Dados de Campo para Projeto de Proteção catódica – Dutos Terrestres, REV.B de FEV/2003.

4) Instalação de conjunto retificador;

Foi instalado um conjunto retificador, por corrente impressa, com o objetivo de proporcionar a proteção da estrutura metálica flutuante.

5) Conjunto retificador instalado;

O conjunto retificador foi dimensionado e construído com base em experimentos e informações obtidas em campo baseada em normas técnicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

PROTEÇÃO CATÓDICA DE ESTRUTURA METÁLICA SEMISUBMERSÍVEL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA. ESTUDO DE CASO: AÇUDE GAVIÃO.

Serão apresentadas as principais medidas e formula adotada no dimensionamento teórico do sistema de proteção catódica da estrutura metálica flutuante de captação de água do Açude Gavião.

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.

Foto 4.1 - Vista geral do sistema bombeamento



4.1 - Determinação da resistividade do eletrólito

Conforme Norma Petrobras N-1473, Determinação da Condutividade Elétrica de Águas, REV.B de FEV/2004, a qual determina o modo da determinação da condutividade elétrica em uma água, foram obtidos os seguintes valores. As medições foram realizadas no dia 09/08/2012 às 10:10 hs. A medição foi realizada nos quadrantes da estrutura semisubmersível em estudo e no seu centro, respectivamente.

Tabela 4.1 - Condutividade eletrólito

Amostra	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$	PH	T ($^{\circ}\text{C}$)	SDT (mg/l)
01	713,10	7,85	28,25	483,20
02	712,00	8,12	29,90	482,00
03	712,30	8,19	28,70	482,5
04	713,60	8,23	28,60	483,7
05	715,50	8,24	28,10	488,20

Segundo a Norma Petrobras N-1473 a condutividade elétrica (K) de um eletrólito é recíproca da resistência (R), em ohms, de uma coluna líquida de 1 cm² de seção (F) e 1 cm de comprimento (L):

$$K = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{F} = R^{-1} \text{cm}^{-1} = \text{mho/cm} \cdot a \cdot t^{\circ}\text{c} \quad (2.2)$$

Conforme Norma Petrobras N-1473, Determinação da Condutividade Elétrica de Águas, REV.B de FEV/2004, a condutividade é o inverso da resistividade elétrica.

Tabela 4.2 - Resistividade eletrólito

Amostra	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$	Resistividade do Eletrólito (ohm.cm)
01	713,10	1.402,32
02	712,00	1.404,49
03	712,30	1.403,90
04	713,60	1.401,34
05	715,50	1.397,62
Média		1.401,93

4.2 Densidade de corrente Dc;

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 .

$$D_c = 73,73 - 13,35 \log \rho \quad (4.1)$$

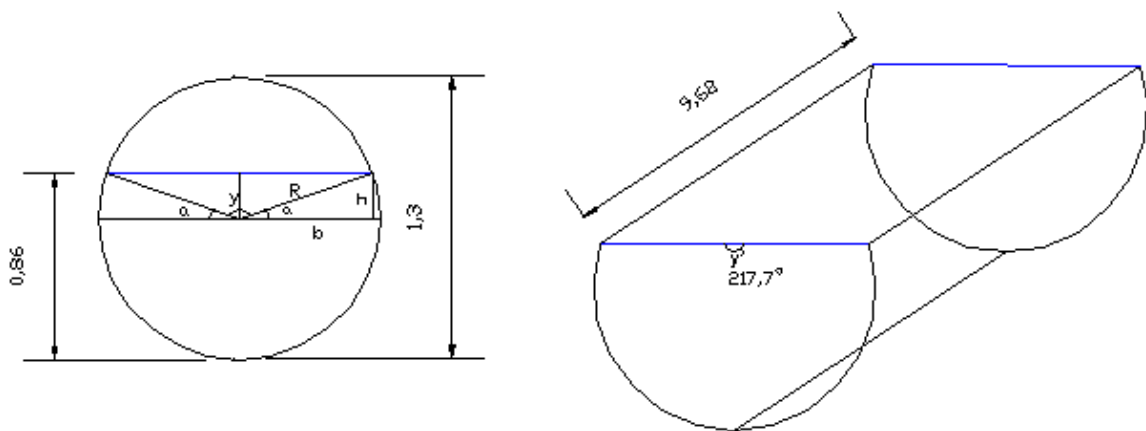
$$\rho = 1.401,93 \text{ (resistividade elétrica do eletrólito em ohm.cm)}$$

$$D_c = 31,72 \text{ mA/m}^2$$

4.3 Área da estrutura a ser protegida A;

A 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



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

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

$$AT2 = \frac{217,7}{360} = 0,6047$$

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

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

$$AT1 = 0,9313 \text{ m}^2$$

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

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

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

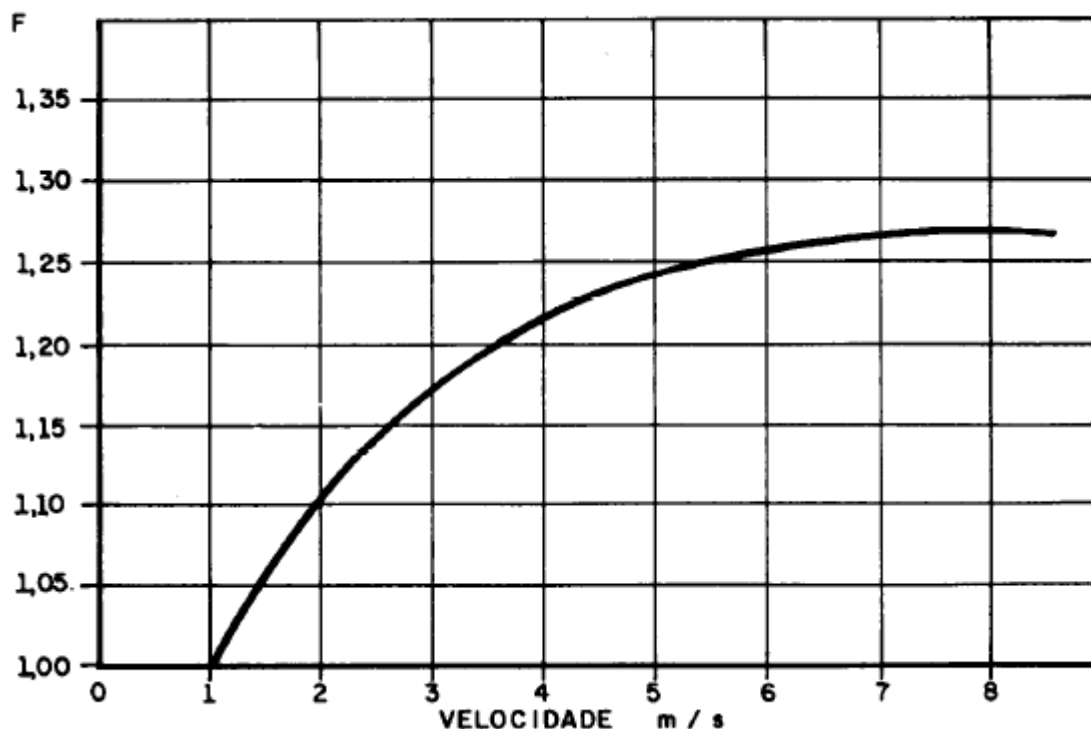
$$ATt = 2 \cdot (0,9313) + (2,47 \cdot 9,68) = 25,8 \text{ m}^2 \cdot 2$$

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

4.4 Fator de velocidade F;

É um coeficiente quando existe movimento relativo entre a estrutura e o eletrólito.

Gráfico 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 1m/s, pois no local não há variação da velocidade superior a esse valor.

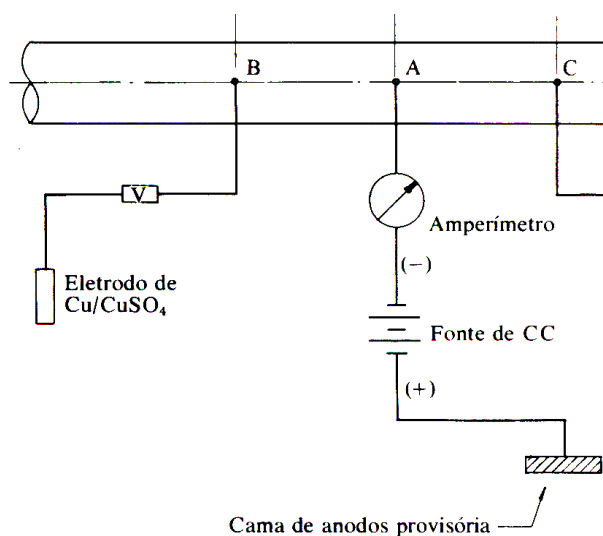
4.5 Levantamento de campo para determinação da corrente necessária a proteção;

Como a estrutura em estudo já existe, foi realizado um levantamento de dados em campo para avaliar a real condição 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 foi obtido com o auxílio de um voltímetro de alta resistência interna, uma semi-célula de referência Cu/CuSO₄, um amperímetro, uma bateria de 12vcc e anodos provisórios, conforme Figura 4.2.

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. 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 no dia 15/08/2012 foram:

Tabela 4.3 - Corrente medida Estrutura/Eletrodo de referência

Numero	Potencial medido (Vcc)	Corrente (A)
01	-0,70	4,00
02	-0,75	5,00
03	-0,80	7,00
04	-0,85	8,50
05	-0,90	10,60
06	-0,95	12,20
07	-1,00	13,50

Tabela 4.4 - Tensão natural Estrutura/Eletrólito

Potencial natural (Vcc)	
01	-0,52
02	-0,56
03	-0,53
04	-0,56
05	-0,57
Média	-0,548

Após o teste realizado observou-se que a corrente necessária para a proteção da estrutura era maior do que a encontrada nos testes feitos anteriormente na monografia que indicava um valor de 2,10 A. A nova corrente mínima observada é de 8,50A para garantir o potencia de proteção de -0,85vcc.. Com base nos valores de corrente encontrada pode-se determinar a eficiência (E) real do revestimento da estrutura.

$$I = A \cdot Dc \cdot F \cdot (1 - E) \quad (4.2)$$

$$8,50 = 51,6 \cdot 31,72 \cdot 1 \cdot (1 - E)$$

$$E = 0,9948\%$$

Com base nos valores obtidos nos testes práticos, pode-se concluir que o potencial natural mínimo de -0,52vcc, Estrutura/Eletrólito, esta abaixo dos -0,85V necessários para a proteção da estrutura e que o revestimento por pintura esta com 99% de falha, o que caracteriza que a estrutura esta sofrendo severo processo de corrosão.

4.6 Método utilizado para Proteção Catódica

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

4.6.1 Sistema de proteção por corrente impressa

No sistema por corrente impressa será adotada a corrente de 8,50A obtido nos testes realizados no item 4.5, “levantamento de campo para determinação da corrente necessária a proteção”.

4.7 Escolha do material do anodo

Os anodos usados nos sistema de proteção por corrente impressa são os anodos inertes mostrados na tabela 4.5, abaixo:

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

Anodo	Densidade de corrente recomendada (a/m²)	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.

4.8 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 4.3 e 4.4.

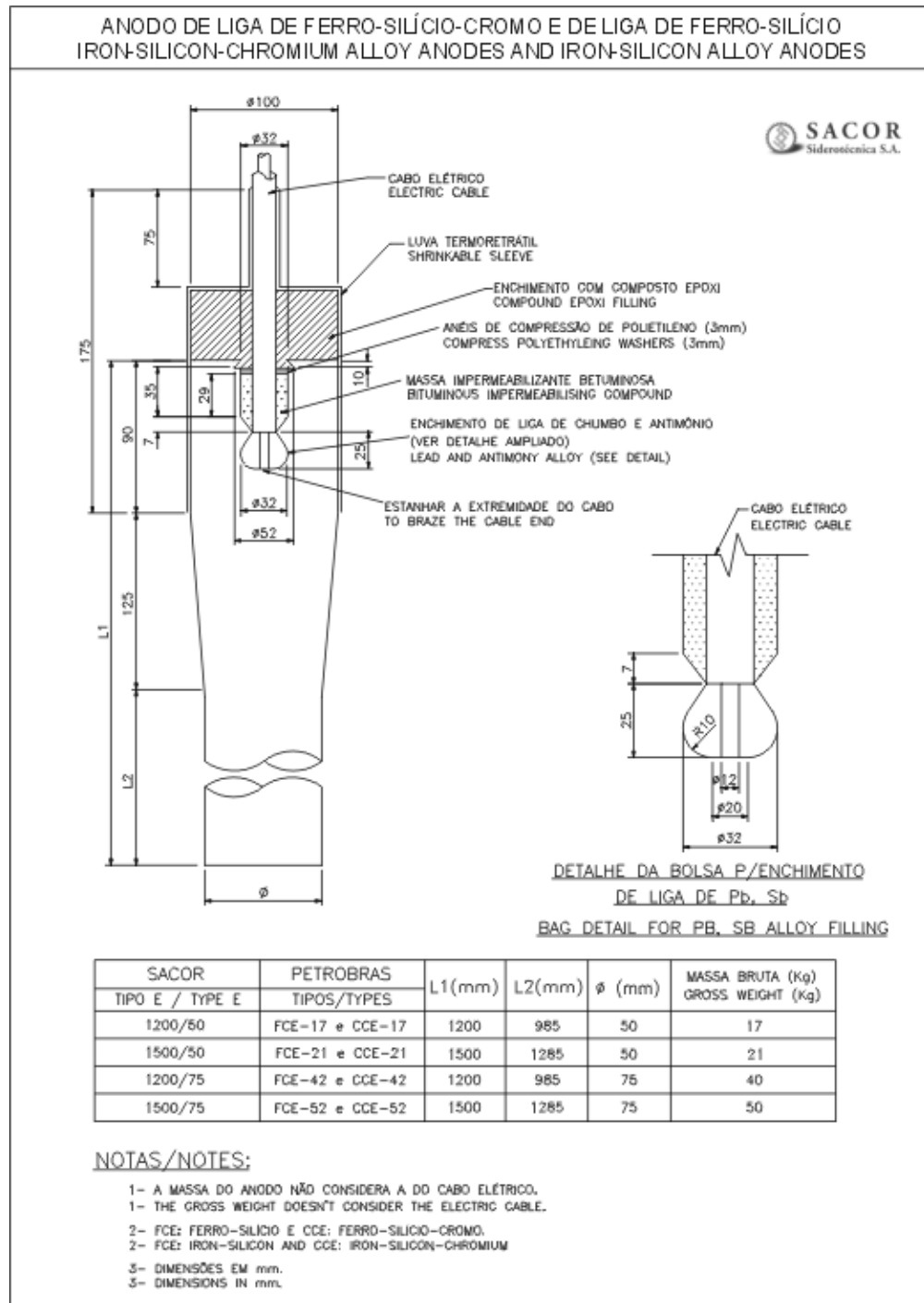
Figura 4.3 - Anodo de Ferro/Silício/Cromo



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

Acesso em: 12 jun. 2013.

Figura 4.4 - Anodo de Ferro/Silício/Cromo



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

Acesso em: 12 jun. 2013.

4.9 Cálculo da massa de anodos

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

$$M = \frac{D \cdot V \cdot I}{F} \quad (4.3)$$

Onde:

M – Massa do anodo (kg)

D – Desgaste do anodo (Kg/A.ano): 0,35 conforme tabela 5.4

V – tempo de vida útil desejada para o anodo (anos): 13 anos

I – Corrente máxima a ser injetada pelo anodo (A): 8,50 A

F – Fator de utilização dos anodos: 80%

$$M = \frac{0,35 \cdot 10 \cdot 8,50}{0,80}$$

$$M = 48,343 \text{ kg}$$

4.10 Calculo da resistência do circuito;

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

$$RT = 1,2 \cdot (R_{ce} + R_{pc} + R_{ca} + R_{ae}) \quad (4.4)$$

RT – Resistência máxima (ohm) 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:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{8L}{D} - 1 \right) \quad (4.5)$$

onde:

R – Resistência média (ohm).

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

L – Comprimento do anodo (cm).

D – Diâmetro do anodo (cm).

$$R = \frac{1.401,93}{2 \cdot 3,14 \cdot 128,5} \cdot \left(\ln \frac{8 \cdot 128,5}{7,5} - 1 \right)$$

$$R = 2,183 \text{ ohm}$$

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

$$RT = 1,2 \cdot (0 + 0 + 0 + 2,183)$$

$$RT = 2,620 \text{ ohm}$$

4.11 Corrente liberada pelo anodo

A corrente liberada pelo anodo é a divisão da tensão de alimentação (14,50Vcc), pela resistência total (Anodo/Eletrólito).

$$RT = \text{Resistência total (ohm)}. 2,620 \text{ ohm}$$

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

$$\Delta V = \text{Tensão fornecida por alimentação externa (Vcc)}. 12,0 \text{ Vcc}.$$

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (4.6)$$

$$I = \frac{12,0V_{cc}}{2,620ohm}$$

$$I = 4,60A$$

4.12 Vida útil do anodo calculado

A corrente liberada pelo anodo é de 4,60 A e a corrente necessária para proteção é de 8,50 A, sendo necessário dois anos de Fé/Si/Cr totalizando 9,2A para garantir o potencial mínimo necessário. Com base na massa do anodo dimensionado, Ferro/Silício/Cromo (Fe/Si/Cr), pode-se determinar a sua vida útil de cada anodo utilizando a formula abaixo:

M – Massa do anodo (kg). 50 kg (Conforme fig. 4.4)

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 por anodo (A). 4,60A

F – Fator de utilização dos anodos. 80%

$$V = \frac{M \cdot F}{D \cdot I} \quad (4.7)$$

$$V = \frac{50 \cdot 0,80}{0,35 \cdot 4,60}$$

$$V = 24,84 (\pm 25 \text{ Anos})$$

4.13 Instalação de conjunto retificador por corrente impressa

Baseado nos cálculos e nas informações obtidas em campo foi construído e instalado um conjunto retificar na estrutura metálica semisubmersível da EB Gavião.

4.14 Retificador

O conjunto retificador foi construído tomando como base alguns itens da Norma PETROBRAS N-2608 REV. A AGO/2006, “Retificadores Para Proteção Catódica”.

O retificador possui uma ponte retificadora para converter a tensão alternada em contínua, um transformador de potencia abaixador com 05 (cinco) níveis de tensão no secundário, fusíveis de proteção no primário e secundário, disjuntor termomagnético, protetor de surto e chave manual comutadora de tensão. Os equipamentos foram instalados em caixa moldada de PVC com grau de proteção IP 56.

Foto 4.2 - Caixa do retificador



Foto 4.3 - Equipamentos no interior da caixa



O retificador é alimentado com uma tensão de 220Vca e possui 05 níveis de ajuste de tensão da saída, conforme tabela abaixo:

Tabela 4.6 - Tensões de saída do retificador

Tensões de saída Vcc	
TAP 01	15,83
TAP 02	21,30
TAP 03	27,70
TAP 04	32,50
TAP 05	44,20

4.15 Anodo de sacrifício

Os anodos utilizados na montagem da proteção catódica são de Ferro-Silício-Cromo e foi observada a Norma PETROBRAS N-420 REV. G FEV/2008, “Anodos de Ligas de Ferro-Silício-Cromo”.

Anodo de liga de Fe-Si-Cr, marca Sacor Siderotécnica S.A, tipo CCE-52. Dimensões 1500 x 75mm, provido de 5 metros de cão catódico, bitola de 10mm².

Análise química: C 0,92%; Cr 4,37%; Fe BAL; Mn 0,83%; P 0,02%; S 0,01% e Si 14,68%.

O certificado de qualidade dos anodos encontra-se em anexo.

Foto 4.4 - Anodo de Fe-Si-Cr



4.16 Instalação, montagem, ajustes e testes da proteção catódica

O conjunto retificador (retificador mais anodos) foi instalado no dia 03/08/2013 e foi observado a Norma PETROBRAS N-1643 REV. B NOV/2004, “Instalação de Anodos Galvânicos e Inertes”.

Foi utilizada o eletrodo de referencia de Cu/CuSO₄ (cobre/sulfato de cobre) para realizar as leituras dos potenciais proteção estrutura/eletrólito.

Foto 4.5 - Eletrodo de referencia (Cu/CuSO₄)



4.17 Resultados da instalação

Depois de instalada a proteção catódica (conjunto retificador mais anodos) foram encontrados os seguintes níveis de proteção Estrutura/Eletrodo de Referencia, conforme ajuste no TAP:

Tabela 4.7 - Tensões de proteção conforme ajuste no TAP

TAP	Tensão de Saída	Potencial de proteção
01	9,45 Vcc	-2,67 Vcc
02	13,90 Vcc	-3,86 Vcc
03	17,82 Vcc	-4,79Vcc
04	21,7 Vcc	-5,75 Vcc
05	28,50 Vcc	-7,40 Vcc

Foto 4.5 - Potencial estrutura/eletrólito sem proteção (-0,55Vcc)



Foto 4.6 - Potencial estrutura/eletrólito com proteção (-2,67 Vcc)



4.18 Resultados da proteção catódica na estrutura

Conclui-se que a proteção catódica esta de fato garantindo a proteção da estrutura, pois o potencial mínimo de proteção atende os -0,85 Vcc .

O ajuste foi mantido no TAP 1 onde a tenção de saída é de 9,45 Vcc e o potencial de proteção de -2,67 Vcc.

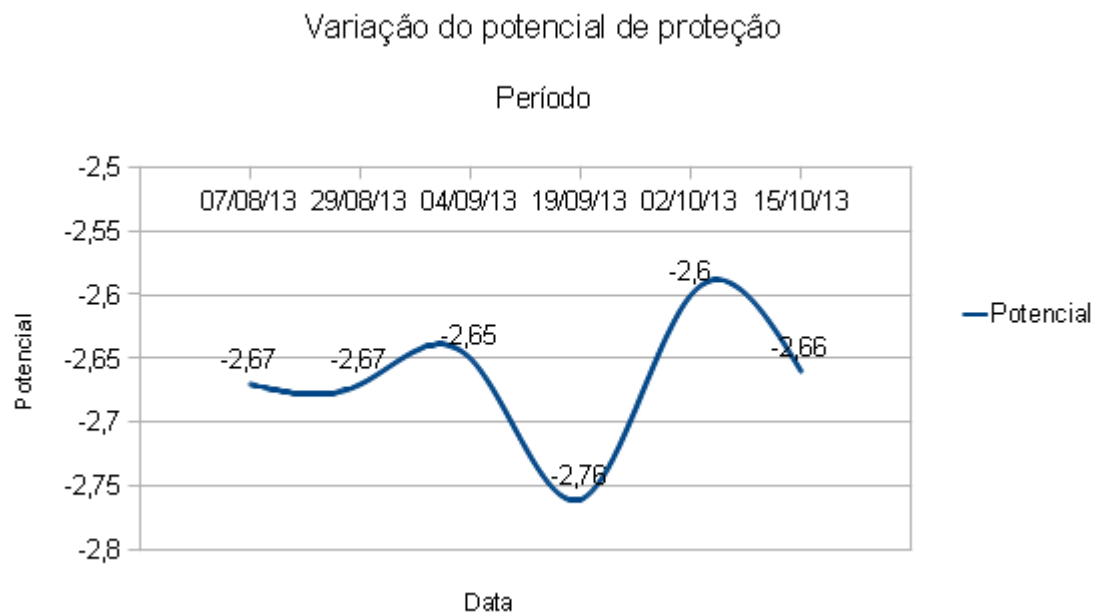
4.19 Acompanhamento dos potenciais de proteção da estrutura

Esta sendo realiza inicialmente leituras periódicas do potencial de proteção da estrutura. Posteriormente será necessária apenas uma leitura mensal dos parâmetros, pois a resistividade do eletrólito apresenta pouca variação e há uma folga no potencial de proteção.

Tabela 4.8 - Valores medidos

Leitura	Data	Potencial de proteção
01	07/08/2013	-2,67 Vcc
02	29/08/2013	-2,67 Vcc
03	04/09/2013	-2,65 Vcc
04	19/09/2013	-2,76 Vcc
05	02/10/2013	-2,60 Vcc
06	15/10/2013	-2,66 Vcc

Gráfico 4.2 - Potenciais obtidos



4.20 Estimativa de custo para implantação do sistema de Proteção Catódica por Corrente Impressa;

Tabela 4.9 - 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	3,90	7,80
2	Cabo elétrico, singelo, condutor de cobre eletrolítico, recozido, tempera	m	20	2,70	54,00

	mole, classe 0,6/1kv, com isolamento externo de PVC, bitola de 2,5mm ² .				
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	11,90	59,50
4	Pó para solda exotérmica em embalagem de 25g, tipo CA-15 da Cadwel ou similar.	Un	04	1,50	6,00
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	49,00	49,00
6	Kit completo para solda exotérmica, cartucho nº. 15.	Un	02	11,80	23,60
7	Conector para derivação de cabo, tipo "Split Bolt", 16mm em cobre, da Eltec ou similar tipo COA-33.	Un	02	2,10	4,20
8	Anodo de Ferro/Silício/Cromo (Fe/Si/Cr) 1500/75	Un	02	2.583,00	5.166,00
9	Componentes e acessórios	Vb	01	200,00	200,00
10	Transformador abaixador retificador 220Vca / 24Vcc.	Un	01	300,00	300,00
Total					5.870,10

BASE. Outubro 2013.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Observou-se que entre os processos de corrosão, 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 o uso da proteção catódica por corrente impressa é o método de proteção mais eficiente porque garante uma proteção com duração superior a 25 anos da estrutura com um gasto mensal de energia elétrica correspondente a 0,0046% do gasto com energia da estação de bombeamento do Açude Gavião.

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 25 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 à estrutura semisubmersível metálica flutuante de captação de água realizando a polarização da estrutura com um transformador que forneça uma tensão variando de 9,45 Vcc a 28,50Vcc e libere uma corrente que muda com o nível de tensão aplicada, onde o negativo do transformador será ligado à estrutura a proteger e o positivo ao anodo de sacrifício.

Com base nos resultados obtidos neste experimento algumas conclusões foram obtidas:

- A estrutura metálica submersa esta sofrendo processo de corrosão;
- A eficiência do revestimento original é de aproximadamente 0,9948 %;
- A corrente necessária a obtenção de um potencial de proteção é de 8,50 ;
- Asseguraram-se mais 25 anos de funcionamento da estrutura por um custo implantação muito baixo;
- Confiabilidade de funcionamento do sistema;
- Eficiência da Proteção Catódica por corrente impressa na unidade estudada;
- Garantia do potencial proteção superior ao mínimo exigido: -0,85vcc;
- O sistema poderá ser usado em outras unidades da COGERH;
- O estudo poderá ser estendido a CAGECE e SAAE;
- Realizar estudos mais detalhados sobre a proteção catódicas dessas unidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GENTIL, Vicente, **“Corrosão”**. 3ª 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, 1ª Edição, Rio de Janeiro, Petrobras, 1990.

IEC – Instalações e engenharia de corrosão Ltda. **“Proteção Catódica”**, 2ª Edição, 1981.

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

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

PETROBRAS N-1473, “Determinação da Condutividade Elétrica de Água”, REV. B, FEV/2004.

PETROBRAS N-1643, “Instalação de Anodos Galvânicos e Inertes”, REV. B, NOV/2004.

PETROBRAS N-1719, “Classificação de Anodos Galvânicos e Inertes”, REV. B, FEV/2004.

PETROBRAS N-1729, “Anodos de Liga de Alumínio”, REV. D, AGO/2006.

PETROBRAS N-1813, “Dimensionamento de Proteção Catódica Galvânica de Plataforma Marítima Fixa”, REV. D, 03/2008.

PETROBRAS N-1861, “Inspeção de Anodos Inertes”, REV. A, JUN/2004.

PETROBRAS N-1879, “Inspeção de Anodos Galvânicos”, REV. A, JUN/2004.

PETROBRAS N-1935, “Projeto de Sistema de Proteção Catódica por Corrente Galvânica – Tudo Submarino”, REV. C, JAN/2004.

PETROBRAS N-1983, “Apresentação de Projeto de Sistema de Proteção Catódica”, REV. D, MAR/2004.

PETROBRAS N-1988, “Montagem de Sistema de Proteção Catódica Galvânica em Plataformas Marítimas”, REV. B, 05/2008.

PETROBRAS N-1989, “Montagem de Proteção Catódica Galvânica em duto Submarino”, REV. C, JAN/2006.

PETROBRAS N-2115, “Projeto de Sistemas de Proteção Catódica por Corrente Galvânica – Boias e Monobóias”, REV. A, JUN/2003.

PETROBRAS N-2291, “Dsistema de Proteção Catódica por Corrente Galvânica de Plataforma Semi-Submersível”, REV. B, AGO/2003.

PETROBRAS N-2616, “Projeto de Sistema de Proteção Catódica por Corrente Galvânica para Equipamentos Submarinos”, DEZ/2006.

PETROBRAS N-2608, “Retificadores para Proteção Catódica”, REV. A, AGO/2006.

DNV RP B401 - “Catódic Protection Design”, OCTOBER 2010.

ANEXO



SACOR
Siderotécnica S.A.

CERTIFICADO DA QUALIDADE

ANÁLISE QUÍMICA

AQ: 1168/2012
DATA: 28/09/12
PI: 1133/12
PÁG: 1/1

CLIENTE: CIA GESTÃO RECURSOS HÍDRICOS

PEDIDO: PC 018306/1

NF:

ITENS	CÓDIGO DAS CORRIDAS	
1	A	ANODOS DE LIGA DE FERRO-SILICIO-CROMO SACOR, TIPO CCE-52 DIMENSÕES 1500 x 75mm, PROVIDO DE 5 METROS DE CABO CATÓDICO, BITOLA DE 10MM ²


ANÁLISE QUÍMICA

CORRIDAS LEGENDA	COD	C%	Cr%	Fe%	Mn%	P %	S %	Si %
C 10-333-16-2011	A	0,92	4,37	BAL	0,83	0,012	0,01	14,68

OBSERVAÇÃO

MATERIAL EM CONFORMIDADE COM A NORMA DA PETROBRAS N 420 REV. G

RESULTADO: APROVADO


Mauro S. Barbosa
CRQ-03411569