

Proteção catódica por corrente impressa no Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo

WILSON DOMINGUES (1)

1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo para a execução deste trabalho, é o de tornar conhecido o sistema de proteção catódica implantado pela SABESP, em seu Sistema Adutor Metropolitano na região da grande São Paulo. Deve-se salientar inicialmente, que em face a seu grande porte e complexidade e o que o mesmo significa para o abastecimento de água da maior capital brasileira, é significativa a importância atribuída ao mesmo, expressa em termos de recursos aplicados na sua operação e manutenção. Neste trabalho será feita uma exposição sobre o sistema de proteção catódica implantado na RMS. Haverá uma abordagem teórica sucinta, procurando-se com isso, dar a entender o que venha a ser corrosão, suas formas de manifestação e principalmente os métodos empregados em seu controle. Para que possa ser compreendida toda sua importância e o que ele significa globalmente para a SABESP, abordaremos os métodos aplicados e os resultados obtidos em sua operação.

Convém ter-se em mente, que os resultados dessa forma de proteção,

influenciam na redução da perda de água e na não contaminação do líquido, devidas a vazamentos causados pela corrosão e ainda os lucros cessantes de unidades operacionais que param por esse motivo. Ainda poderia ser citado, o empobrecimento de nossas reservas de aço, que em parte são utilizadas para a reposição de estruturas danificadas pela corrosão.

Portanto, a aplicação desse sistema e sua conveniente operação, resultam para a SABESP em uma ajuda valiosa no atendimento de seus usuários, refletindo dessa forma na conservação da imagem da empresa junto ao público consumidor.

2. MECANISMO DE CORROSÃO

Os metais são encontrados na natureza sob a forma de compostos metálicos, (óxidos, hidróxidos, sulfetos, cloretos, etc.). Para extrair o metal desses compostos até torná-los suficientemente puros e próprios para serem utilizados em trabalhos de engenharia, temos o dispêndio de grande quantidade de energia (térmica ou elétrica), devido a isso, os metais ou ligas metálicas encontram-se num estado instável e tendem a reagir espontaneamente com o meio ambiente formando novamente compostos que possuem menor grau de energia interna e consequentemente uma maior condição de

estabilidade. Isto pode ser assim escrito:



Deste modo definimos como corrosão de metais (metais puros e ligas) a deterioração de um material metálico através de reações químicas ou eletroquímicas com o meio ambiente (DIN 50900).

2.1. CORROSÃO GALVÂNICA

A corrosão galvânica é uma reação eletroquímica que se processa espontaneamente nas estruturas metálicas enterradas ou submersas. O princípio de corrosão é idêntico ao de uma pilha eletroquímica, onde neste caso a tubulação enterrada tem um comportamento anódico e o solo age como eletrólito por onde circulam os íons.

A corrosão galvânica pode ser causada por:

- 1.º) Contatos elétricos entre metais diferentes;
- 2.º) Heterogeneidades nos metais;
- 3.º) Heterogeneidades do solo;

2.1.1. Contatos elétricos entre metais diferentes

Quando colocamos dois metais diferentes ligados eletricamente e em contato com o solo, surge uma diferen-

(1) Engenheiro do Departamento de Apoio e Controle da Produção, Diretoria de Operação da Região Metropolitana - SABESP.

ça de potencial entre os mesmos (essa ddp é chamada de potencial natural) e conseqüentemente começa a haver uma circulação de corrente, que no solo é constituída por íons que se movimentam entre as regiões catódica e anódica, devido ao campo elétrico criado entre ambas. Então, o metal de maior potencial, adquirirá um comportamento anódico e se desgastará em benefício do metal de menor potencial, que terá um comportamento catódico. Essa propriedade dos metais é utilizada no combate da corrosão em estruturas metálicas enterradas ou submersas.

2.1.2. Heterogeneidade dos metais

Os aços carbono utilizados em estruturas metálicas não são totalmente homogêneos. Pequenas incrustações na sua constituição fazem com que suas superfícies se comportem como se fossem constituídas de materiais metálicos diferentes, sendo que os mesmos quando são enterrados ou submersos, determinam o aparecimento de ddp entre esses pontos, causando portanto, a formação de pilhas de corrosão ao longo da estrutura. A intensidade do processo corrosivo dependerá do valor da ddp estabelecida nesta pilha e na quantidade dessas inclusões.

2.1.3. Heterogeneidade do solo

A intensidade com que se processa a corrosão depende essencialmente da agressividade do eletrólito, ou seja, dos componentes agressivos que compõem o solo.

Os fatores de influência mais importantes são a resistividade elétrica, a acidez, o grau de umidade e o grau de aeração.

A resistividade elétrica varia constantemente ao longo de uma tubulação enterrada, pois varia a composição química do solo de uma área para outra. À medida que cresce o teor dos componentes ácidos no solo, este passa a ser gradativamente mais agressivo, aumentando a possibilidade de corrosão. A umidade também é um fator essencial na corrosão. Solos secos praticamente não conduzem corrente elétrica, pois não existe o eletrólito aquoso para fechar o circuito da corrente que provoca a corrosão. À medida que a umidade do solo aumenta, os íons que estão dispersos no solo tem maior facilidade para se movimentarem e essa mobilidade resulta na diminuição da resistividade elétrica.

Quando uma tubulação atravessa

uma área de alta resistividade para outra de baixa resistividade, surgirá uma pilha de corrosão, os trechos em contato com os solos de baixa resistividade funcionam como áreas anódicas, corroendo-se em benefício dos trechos que estão em contato com o solo de alta resistividade, que tem um comportamento catódico.

Podemos avaliar a intensidade de corrosão segundo o Quadro 1.

Resistividade Elétrica	Intensidade do Ataque
menor que 2300 ohm^{-1}	forte
de 2300 a 5000 ohm^{-1}	moderado
de 5000 a 10000 ohm^{-1}	fraco
maior que 10000 ohm^{-1}	desprezível

QUADRO 1 – Intensidade de corrosão

Outro fator que contribui para a corrosão, principalmente em tubulações de grande diâmetro é o grau de aeração. Regiões pobres em oxigênio apresentam um comportamento anódico e se corroem em benefício das regiões mais aeradas, que possuem características catódicas.

2.2. CORROSÃO ELETROLÍTICA

A corrosão eletrolítica é provocada por correntes estranhas à estrutura me-

tálica, chamadas correntes de interferência.

Estas correntes são captadas ao longo das tubulações enterradas. As mesmas provêm principalmente de ferrovias eletrificadas ou aterramento de máquinas elétricas.

Para entendermos o processo da corrosão eletrolítica, utilizaremos o modelo de uma pilha eletrolítica, oriunda de uma tubulação paralela a uma ferrovia eletrificada (Fig. 1).

Nas ferrovias eletrificadas, a corrente de alimentação chega aos trens por meio de cabos aéreos, sendo que o retorno da mesma para a fonte é feito através dos trilhos. Em certas regiões, esses trilhos apresentam alta resistência à passagem de corrente, pois a ligação mecânica entre eles é deficiente e com isto a resistência total dos condutores de retorno elevam-se dificultando o fechamento do circuito.

Os trilhos encontram-se sobre dormentes que estão em contato com o solo e possuem uma baixa resistência de isolamento. Devido a esta deficiência, em certos trechos da estrada de ferro, parte da corrente de retorno abandona os trilhos. Este processo se dá da seguinte forma: os átomos de ferro metálico do trilho (Fe^0), reagem com o solo, que funciona co-

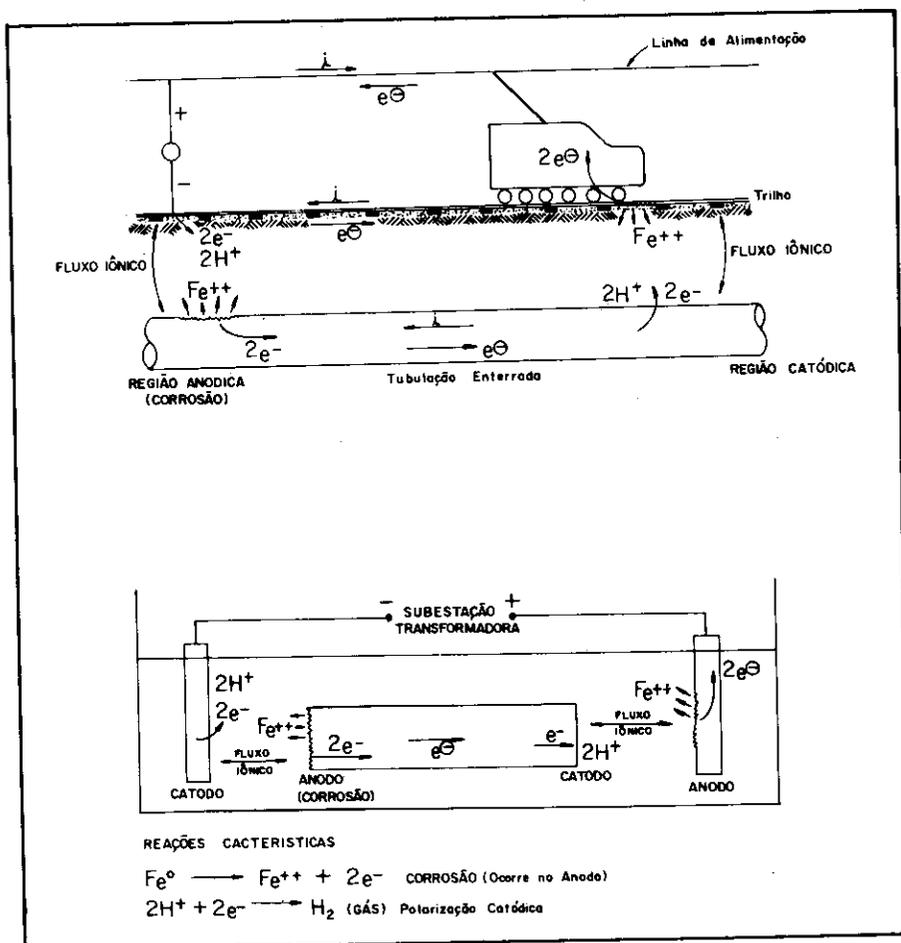


FIG. 1 – Pilha de corrosão eletrolítica.

mo eletrólito e passam para o mesmo sob a forma iônica Fe^{++} . Nesta reação os átomos de ferro perdem 2 elétrons que entram no circuito formado pelo gerador, linha de alimentação, trem e trilhos. Nesta região do trilho estabelece-se uma área anódica e o trilho se corroe. No solo inicia-se o fluxo iônico entre o trilho e a tubulação, sendo que na região externa da mesma, os íons de hidrogênio H^+ vão se neutralizar eletricamente, recebendo elétrons desta e passam para a forma gasosa H_2 . Com isto forma-se uma película sobre a tubulação, que recebe o nome de polarização catódica. Neste trecho, a tubulação tem comportamento catódico e fica protegida contra a corrosão.

Em outro local da tubulação próximo à Subestação transformadora deverá ocorrer o processo inverso, já que é necessário que o sistema esteja em equilíbrio elétrico, ou seja, não pode existir o acúmulo de cargas em qualquer lugar do circuito. Os átomos de ferro metálico reagem com o eletrólito passando para a forma de íons de ferro Fe^{++} , liberando 2 elétrons que caminharão pela tubulação, sendo desta forma estabelecida uma corrente elétrica na estrutura da área catódica para a anódica e um fluxo iônico entre a tubulação e a subestação. Numa região próxima à subestação os íons de hidrogênio H^+ captam elétrons do trilho, passando para a forma de hidrogênio gasoso.

Nesta região a tubulação terá um comportamento anódico e se corroerá em benefício dos trilhos que, neste caso ficam protegidos contra a corrosão. Generalizando, podemos dizer que quando a corrente elétrica deixa uma estrutura metálica ocorrerá corrosão.

A corrente de retorno passa para a tubulação devido a baixa resistência elétrica oferecida pela mesma, que se comporta como se fosse uma resistência em paralelo ligada aos trilhos e esta se torna um caminho preferencial para a corrente de retorno.

A corrosão, nessas circunstâncias é bastante severa, pois a fuga de corrente normalmente ocorre em pontos concentrados da tubulação, principalmente nas falhas de revestimento, podendo ocasionar furos em pouco tempo. (Foto 1).

Este tipo de corrosão pode ser evitado se fizermos uma ligação elétrica de baixa resistência entre a tubulação e o trilho, ou seja, uma drenagem de corrente, deste modo a corrente elétrica abandona a tubulação pelo condutor e não mais pelo solo, evitando que a tubulação seja corroída.

A massa de material corroído pode ser calculada pela lei de Faraday e é proporcional à intensidade de corrente em Ampères, ao tempo de descarga para o solo em segundos e ao equivalente químico do metal utilizado em gramas/Coulomb.

2.3. CORROSÃO QUÍMICA

Esse tipo de corrosão se processa devido à ação de microorganismos geralmente bactérias em alguns casos, fungos.

Esta corrosão aparece quando a tubulação atravessa áreas propícias ao desenvolvimento das colônias de bactérias, tais como água do mar, de rios, e de pântanos, sedimentos oleosos, solos contendo resíduos orgânicos, enxofre, fosfato e nitratos.

Esses microorganismos sintetizam seu material celular a partir do dióxido de carbono, e a energia para essas sínteses é proveniente da oxidação do enxofre. É nesse processo que se dá formação de ácido sulfúrico que funciona como agente corrosivo.

3. NECESSIDADES E TIPOS DE PROTEÇÃO

Como premissa inicial devemos salientar que as estruturas metálicas ou que possuam frações metálicas, estão sujeitas ao fenômeno da corrosão.

As armas usuais para se combater ou retardar esse processo são principalmente:

- Pintura com produtos anti-corrosivos;
- Revestimento com materiais adequados;
- Proteção catódica.

Todos eles são utilizáveis conforme as condições exigidas para a proteção de uma determinada estrutura. Os mesmos se aplicam isoladamente ou de forma combinada. Dentre todos e mesmo diante de seu custo de instalação, a proteção catódica é comprovadamente o mais completo, pois via de regra, ela serve para solucionar problemas surgidos quando os demais tipos de proteção foram ineficientes e gradativamente perdem seu propósito de instalação.

Nesta descrição procuraremos indicar as necessidades que uma estrutura metálica tem de ser adequadamente protegida e entre os processos citados para isso, nos preocuparemos em abordar somente o referente à proteção catódica.

4. PROTEÇÃO CATÓDICA

Este processo é usado em estruturas

metálicas protegidas ou não, através de outros tipos convencionais de proteção.

Para se obter proteção catódica de uma estrutura é possível a aplicação de dois processos, sendo que eles se fundamentam em um mesmo princípio, qual seja, uma tubulação será protegida pela injeção de corrente iônica através do meio eletrólito que a contém.

A aplicação da proteção catódica pode ser feita através de dois métodos, sendo os mesmos usados conforme as necessidades e conveniências técnicas exigidas pela estrutura metálica.

Estes processos são conhecidos por:

- Proteção por anodos galvânicos;
- Proteção por corrente impressa.

4.1. PROTEÇÃO CATÓDICA POR ANODOS GALVÂNICOS

Neste processo a troca de corrente entre as estruturas protetora e protegida, se dá devido a f.e.m. existente entre ambas. (Ver. Fig. 2). Na proteção galvânica usa-se como estrutura protetora um metal ou liga metálica, que ocupa na tabela de potenciais eletroquímicos, (Ver. Quadro 2), uma posição mais eletronegativa. Estas ligas são aplicadas como anodos e as mais usadas na prática são: Zinco, Magnésio e Alumínio.

Metal	Potencial (V)
Magnésio Puro	-1,75
Liga de Magnésio	-1,60
Zinco	-1,10
Alumínio Puro	-0,80
Liga de Alumínio	-1,05
Aço	-0,50 a -0,80
Ferro Fundido	-0,50
Chumbo	-0,50
Aço em Concreto	-0,20
Cobre	-0,20
Grafite	+0,20

QUADRO 2 – Tabela Galvânica Prática

As reações que acontecem nas superfícies do anodo e catodo, bem como o comportamento da condução no eletrólito foram descritos no item anterior. Delas é que depende todo o mecanismo existente no sistema de proteção galvânica.

4.2. PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA

A diferença entre proteção catódica por anodos galvânicos e corrente

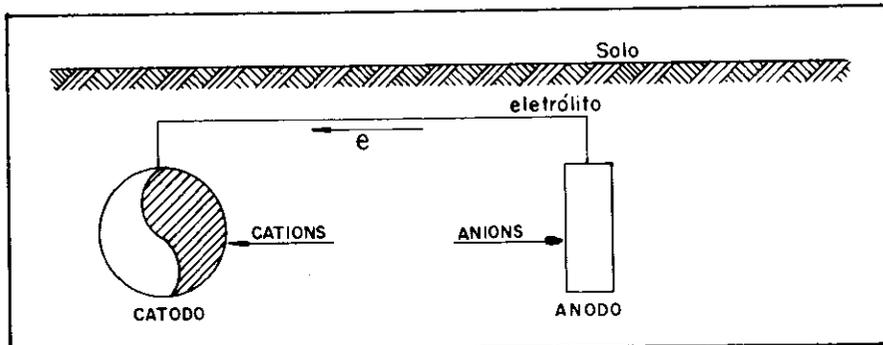


FIG. 2 - Circuito usado na proteção galvânica.

impressa consiste que, no segundo método a diferença de potencial entre anodo e catodo é imposta por uma f.e.m. externa, como podemos observar na figura 3.

Na proteção catódica por corrente impressa, o fornecimento da corrente contínua é feito através de retificadores. Esses aparelhos oferecem a vantagem de serem facilmente reguláveis, sendo que isto permite o controle da corrente necessária afim de que a estrutura permaneça sempre em níveis de proteção.

O terminal positivo do retificador é ligado à cama de anodos, e o negativo à estrutura metálica.

Os anodos podem ser metálicos ou não metálicos, sendo que os mais utilizados são os de Ferro Silício ou Grafite. Eles devem ser bons condutores

de eletricidade e ao mesmo tempo inertes no meio em que são instalados. Essa propriedade é importante para o dimensionamento da cama de anodos, pois quanto mais inerte for o anodo menor será o seu desgaste, aumentando assim sua vida útil. Neste processo temos duas reações químicas principais, que se realizam na região anódica. Na primeira há desgaste do material do anodo que reage formando íons positivos, sendo que os elétrons resultantes da reação vão em direção ao retificador, dando continuidade à condução da corrente elétrica. Esta reação pode ser apresentada esquematicamente da seguinte forma: $Fe^0 \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$. Na segunda, o anodo sendo inerte, a reação química principal é transferida para o eletrólito ocorrendo da seguinte maneira:

$H_2O \rightarrow 2H^+ + 1/2 O_2 + 2e^-$, onde temos a liberação de íons positivos, no caso Hidrogênio e mais alguns elétrons que vão para o retificador.

No catodo também podemos ter duas reações químicas básicas, uma quando o solo é não aerado e outra para solos aerados.

Quando o solo é não aerado, na reação química ocorre a liberação de hidrogênio gasoso que forma uma película em volta da tubulação, chamada de polarização catódica. A reação química é a seguinte: $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$. O segundo tipo de reação ocorre quando a tubulação se encontra imersa num eletrólito aerado sendo que a reação química se processa da seguinte maneira: $H_2O + 1/2 O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$. Estas duas reações químicas ocorrem exclusivamente no eletrólito, portanto, a tubulação enterrada fica protegida contra a corrosão.

Nas duas reações químicas que ocorrem no catodo há captação de elétrons pelo eletrólito, que vem do retificador e estão disponíveis na estrutura metálica, desta forma o sistema tubulação, retificador, cama de anodos e eletrólito permanece em equilíbrio elétrico, pois os elétrons obtidos através das reações químicas na área anódica, são agora devolvidos para o eletrólito pelas reações

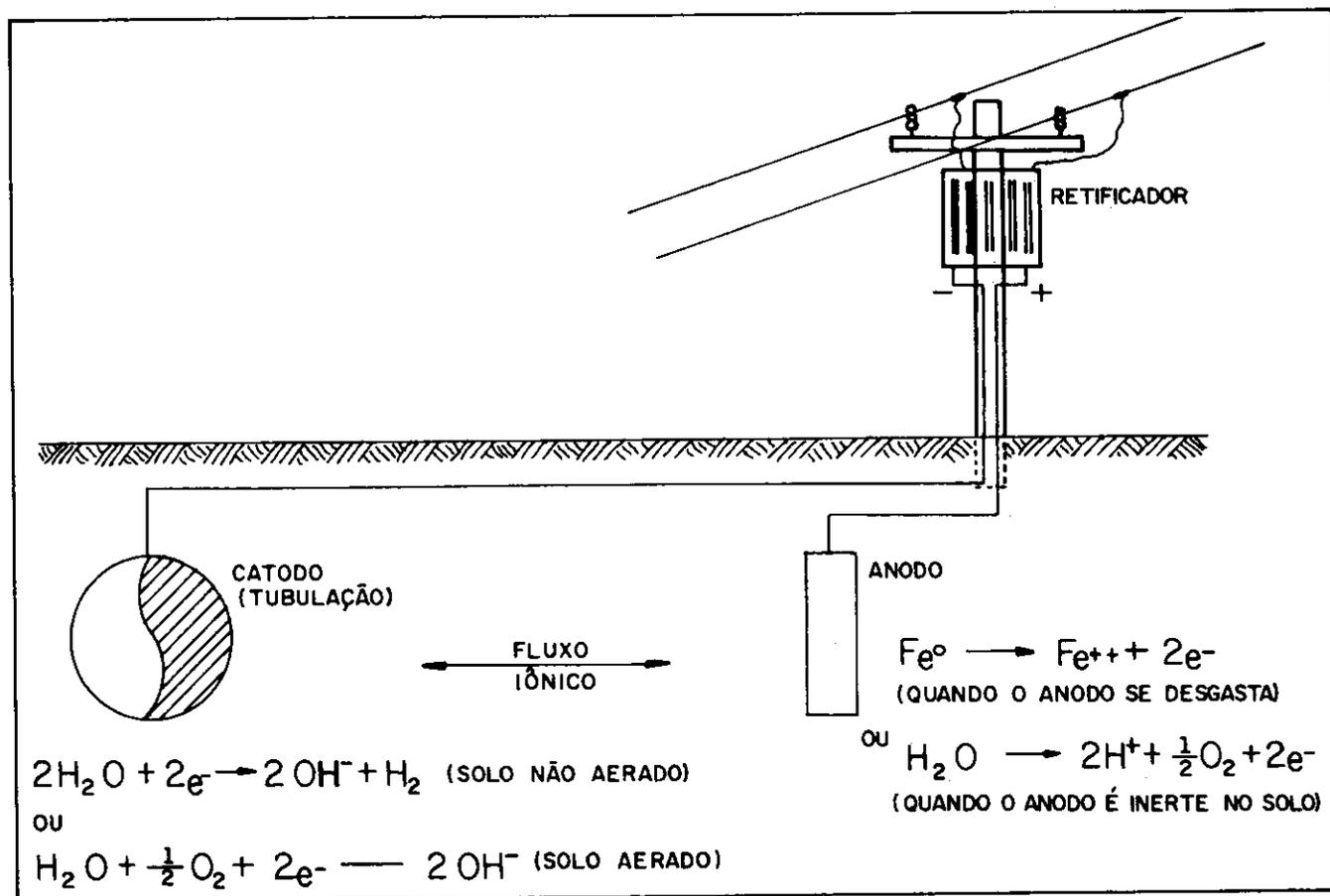


FIG. 3 - Proteção Catódica por corrente impressa.



Foto 1 – Furo ocasionado por corrosão em tubulação de ferro dúctil.



Foto 2 – Retificador de Proteção Catódica por Corrente Impressa.

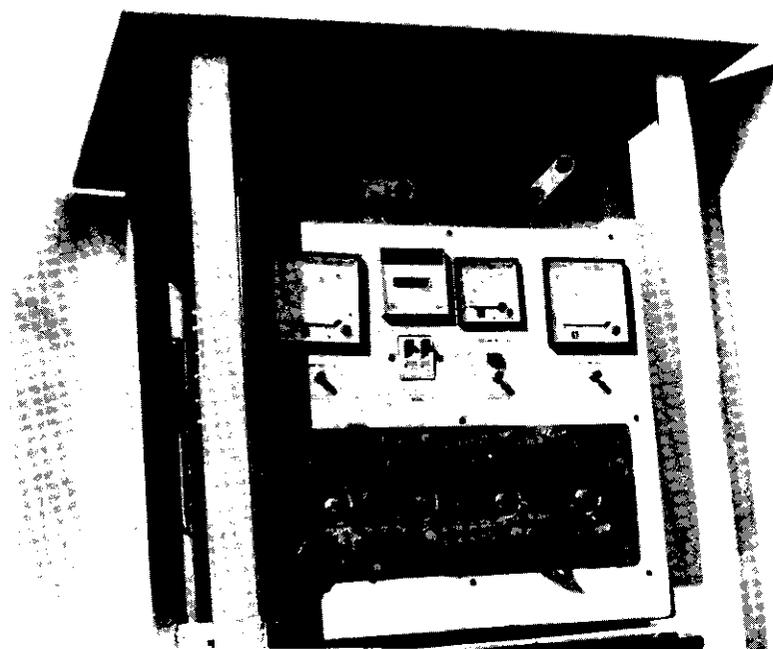


Foto 3 – Vista frontal de um retificador de capacidade nominal 100 V/30 A.



Foto 4 – Detalhe de instalação de um retificador e sua respectiva cama de anodos.

químicas que ocorrem na área catódica. No eletrólito forma-se uma corrente iônica que fecha o circuito elétrico.

Dessa maneira a pilha de corrosão que se encontrava na tubulação é transferida para a região onde está a cama de anodo. Com isto, a tubulação fica protegida.

4.3. INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA.

4.3.1. Retificador e cama de anodos

O retificador é o principal equipamento utilizado na proteção catódica

por corrente impressa, pois é ele que impõe a diferença de potencial entre a tubulação e a cama de anodos. (Foto 2). O retificador é alimentado pela rede elétrica em corrente alternada e fornece na sua saída a quantidade de corrente contínua necessária para a eliminação das pilhas de corrosão existentes na superfície da estrutura.

Devido a importância do retificador para um sistema de proteção catódica, o mesmo deve ser especificado baseado segundo dados obtidos em levantamentos de campo. Sua instalação deve obedecer a critérios adequados, visando com isso a sua melhor utilização, sem esquecer que é de suma importância para o sistema, sua cor-

reta operação e o mesmo deve ser mantido em condições perfeitas para tal.

O retificador é composto basicamente de um transformador que reduz a tensão da rede de distribuição para a tensão que será aplicada entre a cama de anodos e a tubulação. O controle da tensão aplicada é feito por meio de "taps" e é deste modo que controlamos a corrente injetada no sistema, que depende somente da resistência total da instalação e da tensão aplicada no sistema, deste modo a corrente será $I = V/R$, segundo a lei de Ohm.

A retificação da corrente é feita por uma ponte de diodos de silício e um filtro RC. Fazem parte ainda

do retificador, alguns dispositivos de proteção tais como, fusíveis e para-raios que protegem o circuito contra curto-circuitos, sobre-cargas ou picos de corrente que surjam no aparelho. Para nos dar as condições de injeção temos um voltímetro e um amperímetro, que servem para o controle da tensão e corrente de saída. (Foto 3).

O terminal negativo do retificador é ligado à estrutura metálica e o terminal positivo é ligado à cama de anodos. Chamamos de cama de anodo, ao conjunto de anodos enterrados e ligados em paralelo. (Foto 4). Este tipo de ligação visa diminuir a resistência de todo o conjunto, pois quanto menor for a resistência da cama, menor será a tensão necessária para injetar certa quantidade de corrente e conseqüentemente, menor será o custo de operação.

Os anodos normalmente são enterrados na posição vertical, mas dependendo de certos fatores do local onde vão ser instalados, eles podem ser colocados na posição horizontal. (Foto 5). Com relação ao posicionamento dos anodos face à tubulação, procura-se sempre que possível, colocar os anodos numa direção perpendicular em relação a tubulação, desta forma obtendo-se uma melhor distribuição da corrente iônica no solo e a tubulação ficando melhor protegida. Porém, isto pode não ser obedecido, pois dependendo da intensidade da interferência a qual desejamos controlar, a disposição pode ser outra.

Para diminuir a resistência da cama e melhorar o rendimento do sistema de retificação, entre os anodos e o solo é utilizado um material de enchimento que os envolve evitando assim o contato direto deles com o solo. O material usado para enchimento no caso de proteção catódica por corrente impressa é a moinha de coque metalúrgico. Quando fazemos um enchimento bem compactado, os anodos funcionam como se tivessem sua área aumentada, adquirindo dimensões externas equivalente ao do volume do enchimento, isto reduz a resistência anodo/solo, além de aumentar o tempo de vida do anodo.

Em solos de resistividade mais elevada, é adicionado salitre após a instalação e em solos de resistividade bastante elevada ou secos, envolve-se o coque com uma mistura de gesso e bentonita, que tem a finalidade de reter a umidade em redor dos anodos.

4.3.2. Drenagem

A drenagem é um componente de

vital importância para um sistema de proteção catódica por corrente impressa, pois os problemas mais graves da corrosão, surgem quando uma tubulação enterrada se encontra sob a influência de correntes de fuga. Quando isto acontece, a tubulação sofre corrosão do tipo eletrolítica que dependendo de sua intensidade poderá danificar a tubulação em pouco tempo.

Uma tubulação enterrada capta ao longo de seu percurso correntes estranhas a ela. Essas correntes provenientes principalmente de ferrovias eletrificadas, caminham pela tubulação até encontrarem um ponto favorável para abandoná-la, onde deixam a mesma, causando neste local a corrosão. Para evitar este tipo de fenômeno, instala-se uma drenagem de corrente.

Existem duas maneiras práticas de se fazer a drenagem da corrente de uma estrutura.

A primeira é utilizada quando a tubulação cruza ou então se aproxima demasiadamente da ferrovia. (Foto 6) Para estes casos a drenagem consiste em se fazer uma ligação elétrica entre a tubulação e os trilhos. Essa ligação é feita por meio de um diodo de silício que permite a passagem da corrente da tubulação para os trilhos, impedindo que a corrente circule em sentido contrário no caso de uma inversão nos potenciais, pois essa corrente teria que deixar a tubulação em outro local não previsto e conseqüentemente nesta região causaria a corrosão eletrolítica (Foto 9).

O equipamento de drenagem possui alguns elementos de proteção, tais como fusíveis e para-raios. Os mesmos têm a função de proteger o diodo contra picos de corrente excessivamente altos que poderiam danificá-los. Faz parte ainda do equipamento, um amperímetro que indica a corrente que está sendo transferida para os trilhos. (Fotos 7 e 8). Este tipo de drenagem requer uma manutenção periódica, uma vez que o seu mau funcionamento acarretará danos para a tubulação.

O segundo tipo de drenagem é feito quando a tubulação atravessa uma área de características anódicas e não há aproximação da tubulação com os trilhos. Para evitar que a corrente de fuga deixe a tubulação pelo solo, fazemos nesse local uma ligação elétrica da tubulação com uma cama de anodos por onde a corrente sairá, deste modo a tubulação nada sofrerá. É comum neste caso, o uso de uma cama de anodos galvânicos ou então de sucata de ferro.

Em ambos os casos apresentados, é importante que a drenagem apre-

sente baixa resistência elétrica, desta forma ela se tornará um caminho preferencial para a saída da corrente, evitando que a corrente deixe a tubulação pelo solo.

4.3.3. Ponto de teste

Os pontos de teste são os indicadores do comportamento de uma tubulação e ao mesmo tempo os medidores da eficiência de um sistema de proteção catódica. Através das leituras dos potenciais da tubulação ao longo de seu percurso podemos saber se a mesma se encontra em níveis satisfatórios de proteção ou não.

O potencial tubo/solo é usado como referência de corrosão ou da proteção de uma tubulação enterrada. O valor padrão para avaliar se a tubulação está sob proteção ou não é de $-0,85V$ em relação a uma meia célula de $Cu/CuSO_4$. Se em pelo menos um ponto da tubulação o seu potencial for menor que $-0,85V$, isto significa que a tubulação não se encontra totalmente protegida, podendo estar ocorrendo corrosão. Uma forma de resolver o problema seria aumentar a corrente injetada no sistema, até obter o nível de proteção e isto é feito facilmente através de um ajuste nos "taps" do retificador.

O ponto de teste é uma caixa de cimento enterrada, que tem sua parte inferior vasada e em contato direto com o solo. (Foto 11) Dentro dela encontram-se cabos elétricos que estão soldados à tubulação.

Medindo-se o potencial através desses cabos, estamos medindo o potencial da tubulação em relação ao solo e desta forma podemos saber as condições de proteção da mesma.

O número de pontos de teste em uma tubulação varia de acordo com o seu comprimento e sempre devemos distribuir tais pontos de modo uniforme, ou seja, equidistantes entre si. Entretanto se em uma região da tubulação ocorrer instabilidade, deve-se aumentar o número de pontos de teste neste local, para se ter um melhor controle dos potenciais da tubulação.

4.3.4. Caixa de medição e interligação

Quando existir a aproximação demasiada de duas ou mais tubulações ou quando estas se cruzarem, poderá haver entre ambas uma forte influência devido a sua diferença de potencial e uma poderá se corroer em benefício da outra. Nesta área, convém instalar-se uma caixa de medição e interligação.

A caixa MI é uma caixa metálica

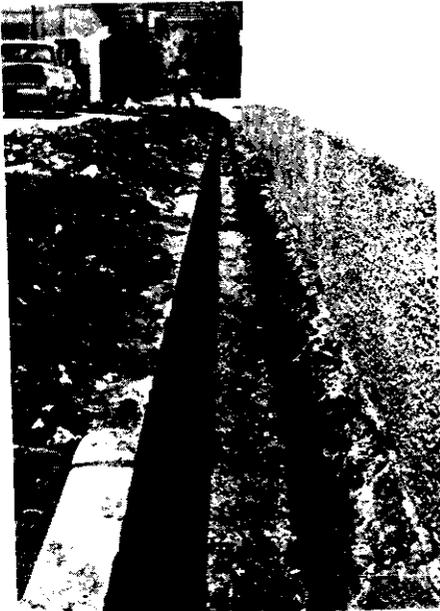


Foto 5 – Detalhe de uma cama de anodo em fase final de acabamento.



Foto 6 – Drenagem usada em Proteção Catódica, vendo-se ao fundo a linha férrea.

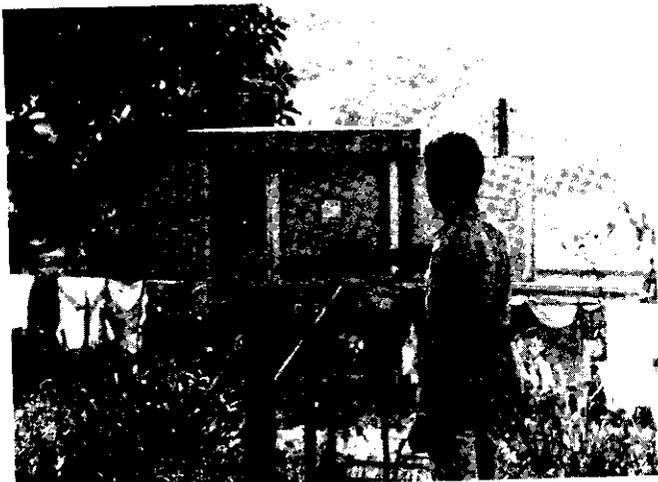


Foto 7 – Vista frontal de uma drenagem.

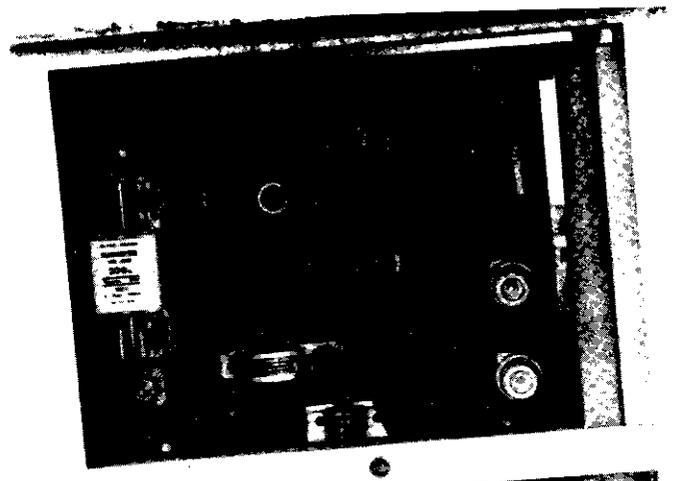


Foto 8 – Detalhe do circuito elétrico de uma drenagem.

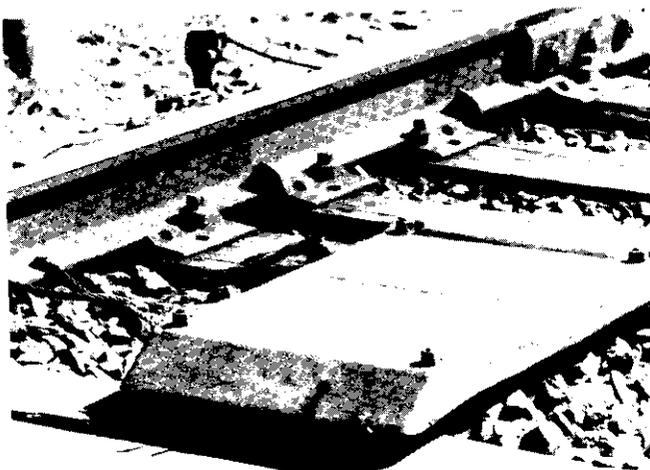


Foto 9 – Detalhe de ligação do cabo da drenagem ao "bonding" de impedância da ferrovia.

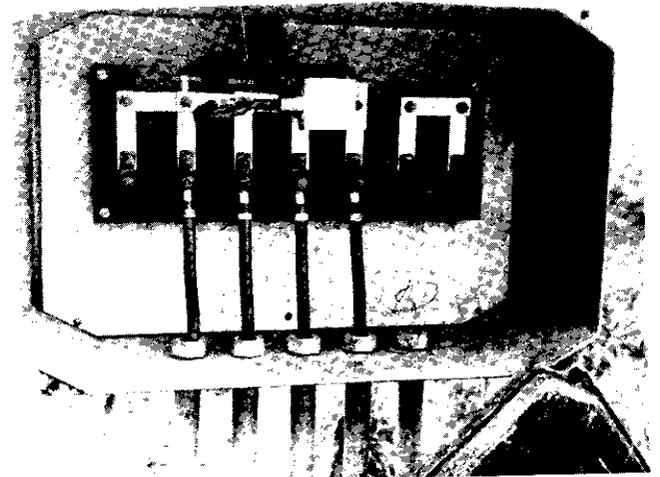


Foto 10 – Detalhe interno de uma caixa de medição e interligação.

que abriga em seu interior dois ou mais terminais, que estão ligados eletricamente com a tubulação por meio de cabos elétricos. (Foto 10) Através das leituras dos potenciais das tubulações em relação ao solo, podemos saber se existe influência de uma tubu-

lação sobre a outra e qual é a sua intensidade. Deste modo podemos tomar as medidas necessárias para diminuir tal interferência.

Quando as tubulações em questão são protegidas catodicamente por um mesmo sistema, os terminais da MI

são normalmente interligados. Desta maneira conseguimos potenciais de proteção mais estáveis e a corrente que antes circulava pelo solo, causando possível corrosão, passa agora a circular pelos cabos elétricos que são caminhos preferenciais para a corrente.



Foto 11 – Local de instalação de um ponto de teste.



Foto 12 – Medição em um ponto de teste do potencial tubo/solo, obtido através de um multímetro e uma meia célula de Cu/CuSO_4 .

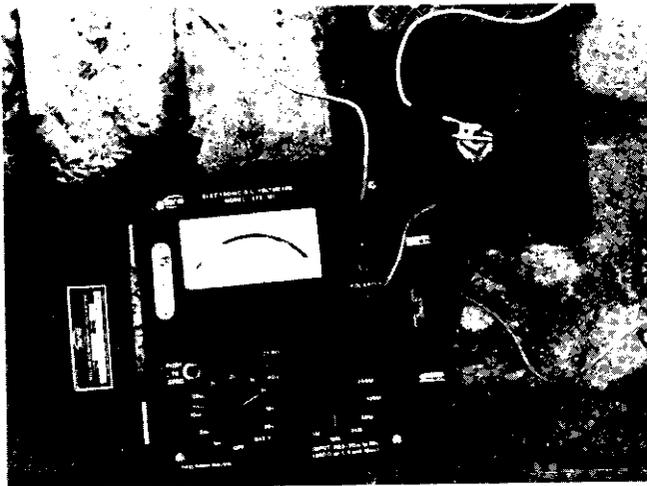


Foto 13 – Medição em um ponto de teste do potencial tubo/solo, obtido através de um voltímetro e uma meia célula de Cu/CuSO_4 .

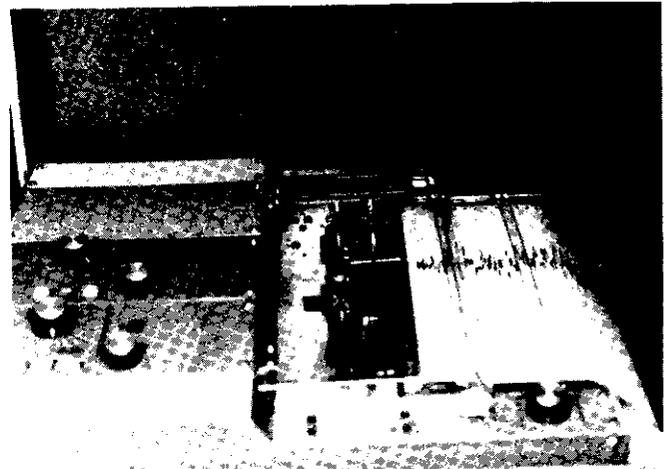


Foto 14 – Voltímetro Registrador, executando um registro gráfico de 24 horas.

Se as tubulações pertencem a sistemas de proteção catódica diferentes, é preferível deixar inicialmente os terminais em aberto, pois as estruturas estranhas, podem trazer influências de áreas distantes e estas através da MI, serão introduzidas nas tubulações de nosso interesse, o que é indesejável. Pode-se interligar as estruturas somente após um estudo dos diversos fatores que envolvam os dois sistemas, tais como o porte das tubulações, os tipos de proteção, e as influências eletrolíticas que sofram as mesmas. Após feita a análise, podemos concluir se a ligação elétrica é conveniente ou não.

A ligação elétrica pode ser feita por meio de resistores quando há necessidade de limitar a corrente transferida de uma tubulação para outra ou por diodos de Silício quando necessitamos de corrente unidirecional.

5. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de Proteção Catódica implantado pela SABESP é o do tipo por corrente impressa.

Motivado pelo porte e complexidade do sistema Adutor Metropolitano e devido ao fato de ser o mesmo captador de uma grande gama de interferências, foi necessário a injeção de correntes com intensidade média da ordem de 25 Ampères, valor esse que não poderia ser obtido por outro sistema de proteção catódica, que não fosse o atualmente instalado.

A implantação foi feita segundo os ditames técnicos descritos anteriormente. A seguir exporemos como encontra-se inserido o sistema de Proteção Catódica no sistema Adutor Metropolitano da grande São Paulo:

- As diversas Adutoras e Subadutoras foram divididas em trechos, sendo que os mesmos foram nomeados segundo a denominação da própria linha. (Ver quadro 3). Por exemplo: Subadutora de Vila Olímpia, no sistema de Proteção Catódica recebeu a designação de trecho da Subadutora de Vila Olímpia, recebendo a seguinte sigla: PTVA, etc.
- A instalação dos retificadores dependeu da necessidade própria de cada um dos trechos, que previa-

mente foram escolhidos e que nos quais se implantou Proteção Catódica.

- Todos os trechos receberam pontos de teste, distribuídos ao longo de seu comprimento, com espaços aproximadamente iguais, sendo que o número máximo instalado foi 18 pontos de teste.
- Dependendo das necessidades de localização e gama de interferência verificada no trecho, foram instaladas caixas de medição e interligação.
- Dependendo das necessidades de localização e gama de interferência eletrolítica no trecho, foram instaladas drenagens.

Em todo o SAM foram instalados inicialmente 326 pontos de teste, 60 retificadores, 27 caixas de medição e interligação e 11 drenagens. Com o passar do tempo de operação, diversos fatores influenciaram para que fossem acrescentados 28 pontos de testes, 3 caixas de medição e interligação e 2 retificadores com sua correspondente cama de anodos.

Portanto, o sistema atualmente fi-

cou assim composto: 354 pontos de teste, 62 retificadores, 30 caixas de medição e interligação e 11 drenagens. E a distribuição encontra-se na figura 4.

6. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A operação e manutenção desse sistema é feita por técnicos eletricitas e eletricitas, supervisionados por engenheiros.

A operação consiste em visita mensal a cada um dos trechos, nele cumprindo-se a seguinte programação:

6.1. Tomada de potencial tubo/solo em relação a uma meia célula de cobre/sulfato de cobre, em

cada um dos pontos do trecho. (Fotos 12 e 13).

6.2. Leitura em cada um dos retificadores da tensão de entrada, tensão de saída e corrente de saída, bem como a energia consumida por cada um deles durante o intervalo de cada visita.

6.3. Tomada dos potenciais tubo/solo em relação a uma meia célula de cobre/sulfato de cobre em todos os terminais que compõem cada uma das caixas MI.

6.4. Tomada da intensidade de corrente drenada em todas as drenagens do sistema.

6.5. Quando as condições de proteção não forem adequadas em um

ou mais pontos de teste, levantam-se as causas de tal interferência e se a mesma exigir deve-se condicionar o retificador ou retificadores do trecho, a valores de injeção de corrente mais adequados e que permitam elevar os potenciais tubo/solo dos referidos pontos de teste, para valores de plena proteção.

6.6. Interligar ou desinterligar terminais integrantes das caixas MI, segundo as necessidades demonstradas pela avaliação dos valores dos potenciais tubo/solo, medidos em cada um desses terminais.

SIGLA DO TRECHO	NOME DO TRECHO	Caixa MI	Drenagem	Retificadores	Nº DE PONTOS DE TESTE
PTCO (1)	Adutora de Cotia-Reservatório A.Branca/Araça	01	-	01	02
PTGA (2)	Guarapiranga-ETA ABV/T.Ramos	05	-	03	04
PTJQ (3)	ABV - Jabaquara - 1ª linha	-	-	-	03
PTJQ (3)	ABV - Jabaquara - 3ª linha	-	-	-	03
PTJA (4)	Subadutora do Jaguaré	01	-	03	15
PTEL (5)	Km 76	-	-	-	03
PTMD (6)	Moóca - Consolação / Derivação - Anel do Bras	-	-	01	03
PTMP (7)	Moóca - Penha	-	-	-	01
PTMO (8)	Adutora do Morumbi	04	01	02	07
PTRC (9)	Adutora do Rio Claro	01	-	05	04
PTOC (10)	V.Gerty - O.Cruz	-	-	01	03
PTVA (11)	Subadutora de V.Olimpia	01	02	02	09
PTAT (12)	ABV - T.Ramos	-	-	-	02
PTCC (13)	Casa Verde - Consolação	-	-	-	01
PTCR (14)	Subadutora de Capão Redondo	01	-	02	15
PTFQ (15)	ABV - França Pinto 4ª linha	-	-	-	01
PTFS (16)	ABV - França Pinto 6ª linha	01	-	-	04
PTTA (17)	Subadutora de Itaim (Itaqua/Itaim)	-	-	01	07
PTIQ (18)	Subadutora de Itaquera	01	02	03	18
PTJM (19)	Subadutora Jabaquara - Moóca	01	01	05	16
PTJS (20)	Subadutora Jabaquara - Sacoma	-	-	-	03
PTFA (21)	ABV - Jardim Paulista	01	-	-	-
PTLF (22)	Lapa - Freguesia do Ó	-	-	-	01
PTMS (23)	Subadutora de Mogi-Suzano	-	-	01	09
PTMV (24)	Moóca - V. Deodoro	-	-	-	01
PTPV (25)	Paraiso - V. Vitória	-	-	01	06
PTPI (26)	POA - Itaquaquecetuba	-	01	01	08
PTPO (27)	Subadutora de Poá (trecho II/IIA)	-	-	-	05
PTSC (28)	Subadutora de São Caetano do Sul(O.Cruz)	02	-	02	11
PTSU (29)	Suzano (Distr. Principal I)	-	-	03	18
PTVN (30)	V.Mariana - Avenida	-	-	-	01
PTCV (31)	V.Mariana - Consolação	-	-	-	01
PFPM (32)	Peri Mirante	-	-	-	06
PTSM (33)	Santana-Moóca	-	-	-	03
PTMR (34)	Moóca - V.Maria	-	-	01	01
PTMM (35)	Subadutora Mirante - Moóca	-	-	01	05
PTMI (36)	Subadutora do Mirante	-	-	-	07
PTGU (37)	Subadutora de Guarulhos	-	-	02	11
PTGP (38)	Guaraú - Peri (trecho III)	-	-	-	05
PTJD (39)	Jaçanã - Dutra	-	-	02	10
PTPJ (40)	Jaguara-Pirituba	01	-	01	07
PTPP (41)	Peri - Pirituba	-	01	02	17
PTAB (42)	Subadutora de V. Brasilândia	01	-	-	04
PTVM (43)	Subadutora de V. Maria	01	-	-	06
PTAA (44)	Adutora do ABC	-	-	04	15
PTDM (45)	Dutra-São Miguel	-	01	02	16
PTGJ (46)	Guaraú - Jaçanã	01	-	02	12
PTIT (47/48)	Imirim - Tiete - Consolação	01	01	03	13
PTMC (49)	Moóca - Consolação - Anel do Bras	01	-	01	02
PTAO (50)	Subadutora de Osasco	01	01	02	13
PTRG (51)	Elev.R.Gde - ETA R.Grande	03	-	01	02
PTSD (52)	Santana - Moóca (Derivação)	01	-	-	01
PTSP (53)	Subadutora de Pirituba	-	-	-	01
PTRE (54)	Subadutora de V.Medeiros	-	-	01	06
	TOTAL	30	11	62	354

QUADRO 3 - Divisão das adutoras em trechos para o Sistema de Proteção Catódica.

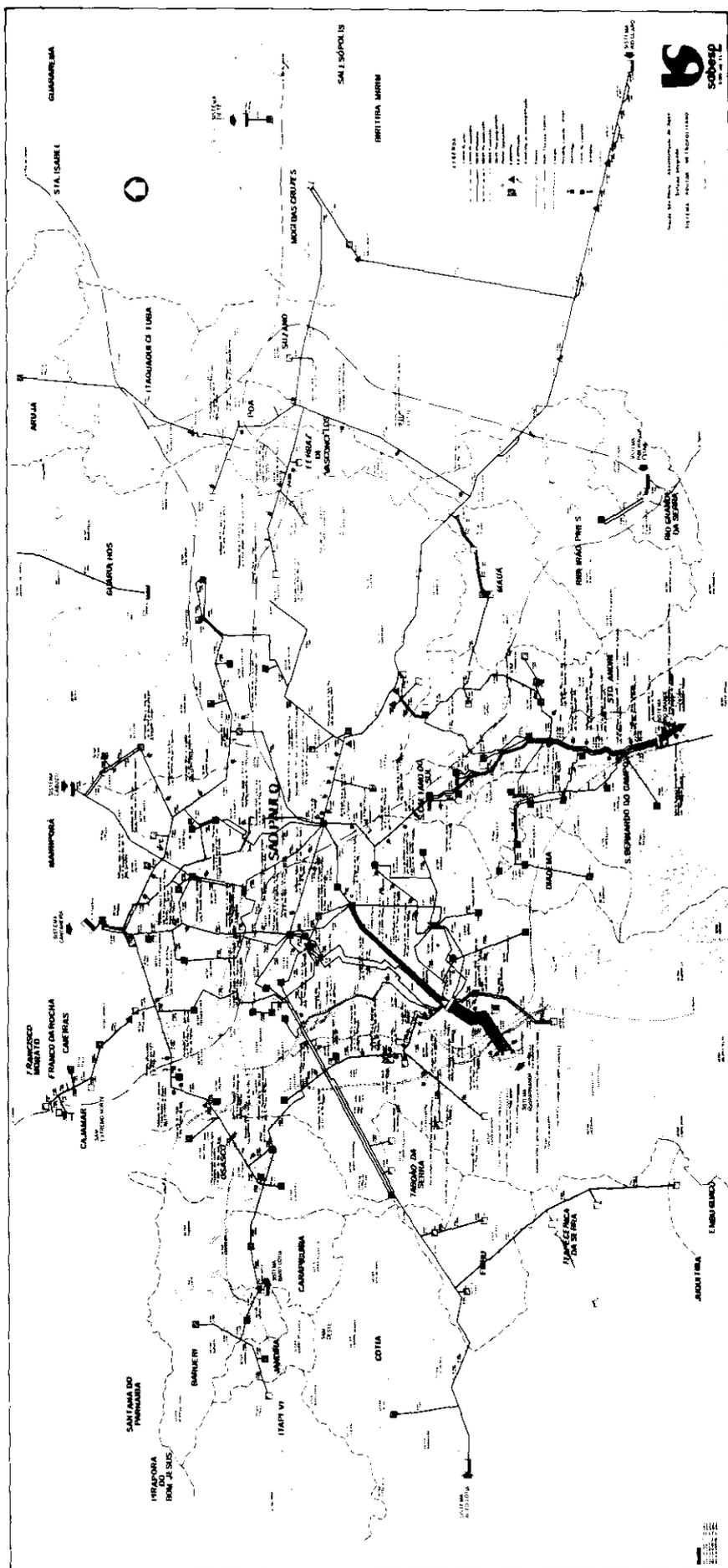


FIG. 4 – Planta geral de distribuição do sistema.

6.7. Executar registros gráficos da variação de potencial tubo/solo ou variação de corrente tubo/trilho ou tubo/tubo sempre que isto se faça necessário e implique em um aprimoramento do sistema. (Foto 14).

Estes itens de modo geral são obedecidos quando se está operando um sistema de Proteção Catódica. Evidentemente que existem na operação fatores alternativos, tais como: – troca de retificadores, visando uma melhora das condições nominais de injeção de corrente, mudança da capacidade das correntes drenáveis, isto obtido pela alteração no circuito elétrico das próprias drenagens e mudança de local ou acréscimo de qualquer um dos dispositivos que compõem o sistema.

Cabe também à equipe que opera o sistema de Proteção Catódica, um perfeito entrosamento com as demais empresas que possuam sistemas idênticos, instalados em suas estruturas metálicas e que estejam próximas das estruturas da SABESP. Igualmente deve ser mantido estreito contato com empresas que através de seus sistemas causem interferências no sistema aqui mencionado.

No que se refere a manutenção, ela se processa paralelamente à operação.

Quando se opera um trecho, nele devemos executar paralelamente uma manutenção preventiva, isto é, verificar as condições de conservação dos diversos dispositivos e sempre conservando os mesmos em perfeitas condições de trabalho.

Será feita *manutenção corretiva*, sempre que alguma anomalia impeça o perfeito desempenho de algum dispositivo do sistema. Neste caso, poderá haver troca de equipamentos, consertos de avarias mecânicas ou elétricas e até mesmo reposição de equipamentos que sofreram atos de vandalismo.

7. CUSTOS

Se levarmos em conta os benefícios que um sistema de proteção catódica bem operado, proporciona relativamente aos custos de manutenção de uma adutora, teremos inteiramente justificada a sua implantação.

Com dados obtidos em um ano de operação, verificou-se que nenhum dos dispositivos usados no sistema de proteção catódica sofreu danos significativos e que ao mesmo tempo não pudessem ser reparados no próprio local e a baixo custo. E como confirmação da ótima performance desse sistema e que implica diretamente sobre o me-

nor custo de manutenção de nossas tubulações, podemos citar que praticamente desapareceram os vazamentos nas adutoras, motivados por corrosão.

8. AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA

8.1. ENSAIOS

Sempre que um determinado trecho de qualquer uma das linhas do SAM, que possuam proteção catódica instalada, apresenta oscilações caracterizadas por abaixamento demasiado dos valores mínimos dos potenciais tubo/solo, surge disso a necessidade de se buscar a estabilidade dessa região, colocando-se os valores oscilantes acima da faixa de proteção.

Antes que qualquer ensaio seja programado, busca-se levantar as causas do aparecimento de tais efeitos. O registro gráfico por um tempo mínimo de 24 horas é a primeira medida que colocamos em prática e ela visa determinar a amplitude das interferências, seu grau de incidência e até mesmo através dos horários em que esses fenômenos ocorram, podemos supor as fontes interferentes. Como o sistema implantado pela SABESP, fez requerer dos retificadores uma injeção considerável de corrente e devido ao alto grau de influência imposta pelas malhas interferentes próximas, a principal arma que dispomos para aquilatar uma possível solução é o ensaio de injeção de corrente.

Abaixo segue-se o procedimento de instalação de retificadores caso os testes indiquem essa necessidade:

8.1.1. Injeta-se corrente no trecho que está sofrendo interferência.

8.1.2. Medem-se os potenciais tubo/solo no trecho que sofre interferência e em pontos próximos a ele antes e após a injeção.

8.1.3. Fazem-se registros gráficos de potencial tubo/solo e/ou corrente tubo/solo em todas as regiões próximas à área com interferência.

8.1.4. Se necessário e para uma melhor avaliação, sempre que possível devemos interligar as tubulações próximas daquela na qual executamos o referido teste.

8.1.5. Pelo valor da corrente necessária e o tipo de anodo escolhido, determina-se o número ideal de anodos para a composição da cama.

8.1.6. Impõe-se um espaçamento entre estes anodos, sendo que por recomendações e conveniências teóricas, não poderá ser inferior a 6 metros.

Uma vez determinadas as condições de instalação e estando a mesma concluída, executam-se testes de eficiência para se comprovar a adequação da nova fonte instalada.

Estes testes buscam determinar:

- Se as condições nominais teóricas são idênticas ou próximas às condições reais impostas pela instalação.

- Se a fonte instalada não implica em novo balanceamento das fontes próximas à mesma.

Outro aspecto ligado à ampliação do sistema e portanto, referente à instalação, é o aumento da quantidade de pontos de teste.

Esse aumento prende-se à necessidade que temos de sempre mais,

obter as condições reais ao longo de toda a estrutura, com isto não permitindo que qualquer área da tubulação possa sofrer interferências e que as mesmas não cheguem a ser captadas na região do ponto de teste já instalado e com isso vindo a corroer regiões fora de nosso controle.

Finalmente no que se refere à instalação, podemos citar a ampliação de nosso número de caixas MI, que nada mais são do que pontos de teste e nas quais temos instalados terminais de várias estruturas, podendo ser os mesmos da SABESP ou de qualquer outra empresa, que tenham tubulações instaladas nessa região.

9. CONCLUSÃO

A apresentação deste trabalho teve o objetivo de mostrar o que é proteção catódica e o que a SABESP vem realizando em termos de proteção contra corrosão em suas tubulações.

De maneira geral, após a instalação deste sistema, praticamente deixaram de ocorrer furos em tubulações, provocados por corrosão. Com isto, os custos de manutenção diminuíram justificando portanto, os próprios custos de implantação do citado sistema.

A aplicação conveniente da Proteção Catódica por corrente impressa resultou para a SABESP em um valioso auxílio no aprimoramento de seus serviços e no conseqüente melhor atendimento de seus usuários.

BIBLIOGRAFIA

- Peabody, A.W. - Control of Pipeline Corrosion - Houston - USA (1967).
- Maurin, J.A. - Manual de Anticorrosion - España (1966).
- Gentil, V. - Corrosão - Brasil (1970).