



27 a 31 de Maio de 2002 – Universidade de Brasília – UnB  
Brasília, DF – Brasil

Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural

## **INIBIDORES MULTIFUNCIONAIS PARA SANEAMENTO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

### **PAULO DE TARSO Pereira Ribeiro**

M.Sc. Engenheiro Civil, Docente do Curso de Patologia de Estruturas de Concreto Armado e Técnicas de Recuperação do SENAI, Diretor do escritório de consultoria e diagnóstico de estruturas TARSO Engenharia Ltda., Rua 19 de Fevereiro, 51, 3º andar, Botafogo, RJ. [tarso@gb.com.br](mailto:tarso@gb.com.br)

### **Luiz Roberto Martins de MIRANDA**

Ph.D. Eng. Metalúrgico, Professor do departamento de metalurgia, COPPE/UFRJ, Centro de Tecnologia, Bloco H, sala 203, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, RJ.  
[miranda@metalmat.ufrj.br](mailto:miranda@metalmat.ufrj.br)

## **1 RESUMO**

Tradicionalmente, os serviços de recuperação do concreto armado incluem vistoria, demolição das áreas afetadas, limpeza das armaduras, fechamento dos reparos com argamassas cimentícias / poliméricas, acabamentos e aplicação de películas protetoras.

Recentemente, técnicas eletroquímicas como proteção catódica e inibidores de corrosão, vêm sendo introduzidas.

De atuação simples, os inibidores de corrosão proporcionam boa relação custo-benefício no âmbito das técnicas eletroquímicas como estratégia de saneamento e manutenção do concreto armado.

Sua utilização para concreto armado vem sendo pesquisada desde 1960, com a primeira aplicação comercial cerca de uma década mais tarde.

A tecnologia de inibidores multifuncionais se fundamenta na velocidade, na profundidade de penetração do produto bem como na altíssima afinidade com o aço, produzindo formação de uma película protetora adsorvida sobre o mesmo, deslocando os hidróxidos e mesmo os cloretos da superfície do aço.

Para gerar um diagnóstico adequado de uma estrutura e determinar a eficiência de qualquer inibidor, promove-se coleta de dados do ensaios através da técnica de curvas de polarização, medições de potenciais além de outras grandezas intervenientes no processo de corrosão, tais como teores de cloretos e nível de carbonatação.

Este trabalho versa sobre aspectos teóricos dos princípios que regem o funcionamento destes tipos de inibidores bem como das técnicas de diagnóstico e monitoramento, já por nós implementadas em algumas estruturas, mostrando 3 casos distintos de estruturas em diversos graus de deterioração obtendo respostas adequadas ao tratamento por inibidores multifuncionais.

## 2 INTRODUÇÃO

Além da tradicional abordagem para os serviços de recuperação estrutural do concreto armado, atualmente se pode adotar o conceito mais amplo de saneamento da corrosão por emprego de técnicas eletroquímicas tais como proteção catódica (por corrente impressa ou por ânodos) e aplicação de inibidores de corrosão locais (aplicados diretamente nas armaduras nas áreas de reparo), de superfície (inibidores tópicos aplicados nas superfícies da estrutura visando atingir as armaduras ainda não expostas) ou de massa (adicionados às argamassas de reparo).

Por definição, um inibidor é uma substância que retarda a velocidade de uma reação química. O inibidor de corrosão é definido como um líquido ou um pó que efetivamente reduz a velocidade de corrosão no aço.

Os inibidores de corrosão vem sendo especificados e utilizados desde 1940, em tubulações para gases, com utilizações específicas desenvolvidas por muitas indústrias, particularmente de embalagens, refinarias de petróleo, tratamento d'água e inúmeros processos químicos. Atualmente, todos os sistemas de aquecimento e refrigeração central utilizam inibidores de corrosão.

É preciso reconhecer, todavia, que os inibidores de corrosão não fazem curas milagrosas, impedindo totalmente a corrosão. Eles “ganham tempo” retardando o início da corrosão e simultaneamente reduzindo a velocidade desta, aumentando a vida útil das estruturas.

Tal como o saneamento da corrosão atualmente pode demandar emprego de técnicas eletroquímicas, também o diagnóstico dos processos corrosivos em uma estrutura se beneficiam destas técnicas, podendo gerando informações precisas quanto à probabilidade e a velocidade da corrosão, fatores importantes para a elaboração do projeto de recuperação / saneamento.

## 3 EXTINÇÃO DA VIDA ÚTIL DO CONCRETO ARMADO

As estruturas de concreto armado, a partir de sua execução sofrem processos degenerativos causados por diversos agentes, atuando separadamente ou em conjunto.

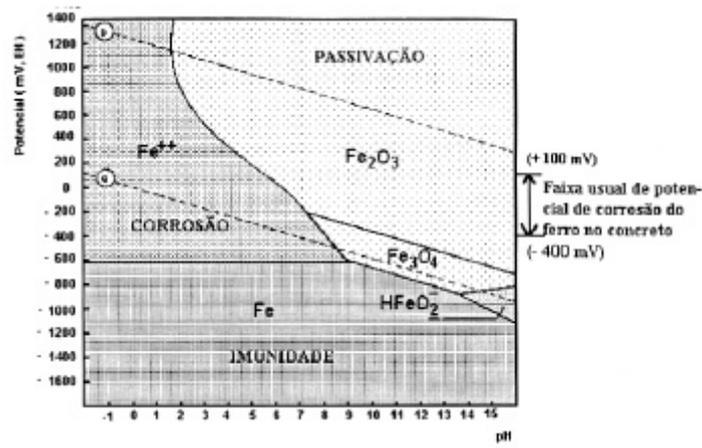
O concreto é meio adequado para a proteção das armaduras de aço. Esta situação, no entanto, se altera em função da ação do  $\text{CO}_2$  atmosférico (carbonatação) que lentamente, da periferia da peça para o interior, diminui o pH alcalino protetor e passivador das armaduras.

Este processo é função também da umidade relativa do ambiente sabendo-se que se dá em maior intensidade para valores de cerca de 60 a 80%.

Aliado à carbonatação, a contaminação do concreto por cloretos, notadamente em zonas de influência da atmosfera marinha, acelera o processo corrosivo pela potencialização das pilhas eletroquímicas aumentando a dissolução do íon  $\text{Fe}^{++}$ , mesmo em condições de alcalinidade adequada, caracterizando a corrosão pontual, e à estrição das barras da armadura.

## 4 CORROSÃO ELETROQUÍMICA

A corrosão das armaduras em concreto armado é uma reação eletroquímica de oxidação e se processa na superfície das armaduras, causando gradativa perda de seção. É causada pela formação de pilhas que naturalmente se estabelecem em função de diversos fatores (aeração diferencial, frestas, tensões diferenciais, contato com outros metais, imposição de deformações diferenciais etc.), desde que haja um eletrólito (no caso, o concreto à umidade atmosférica propícia) e sejam satisfeitas as condições termodinâmicas para sua ação (condições de alcalinidade e potencial de eletrodo).

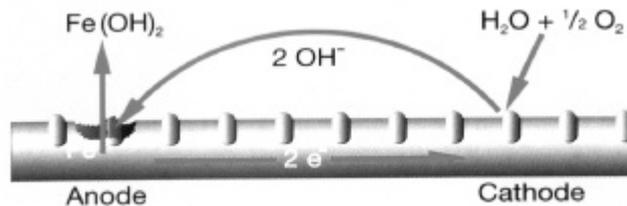


**Figura 1: Diagrama de Pourbaix para o sistema ferro-água**

A passagem de correntes de fuga, correntes de retorno ou de outras correntes contínuas através do concreto, bem como a impregnação por íons cloreto acima dos valores considerados compatíveis, pode também causar corrosão considerável nas armaduras, mesmo estando estas ainda sob alcalinidade considerada de passivação.

No mecanismo de formação das pilhas eletroquímicas, o metal, na região anódica (onde há oxidação) é transportado, sob a forma de íons, pelo eletrólito para a região catódica (onde há redução) que, associado ao oxigênio, forma a ferrugem.

A corrosão metálica por ser um fenômeno eletroquímico, segue a lei de Faraday que expressa a perda de massa do metal (metal que forma o óxido – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) em função da corrente que circunda as áreas anódicas e catódicas da pilha de corrosão. Como exemplo, uma corrente de 1 mA (Amper/10<sup>3</sup>) representa, em um ano, uma perda de massa de 9,1 g de aço.



**Figura 2: Pilha eletrolítica de corrosão**

Pode-se classificar a velocidade de corrosão em  $\mu\text{A}$  (Amper/10<sup>6</sup>) conforme abaixo:

$I$ (densidade de corrente) $< 0,2 \mu\text{A} / \text{cm}^2$	Condição de passivação
$I$ entre $0,2$ e $0,5 \mu\text{A} / \text{cm}^2$	Baixa taxa de corrosão
$I$ entre $0,5$ e $1,0 \mu\text{A} / \text{cm}^2$	Moderada taxa de corrosão
$I > 1 \mu\text{A} / \text{cm}^2$	Alta taxa de corrosão

## 5 INIBIDORES DE CORROSÃO

As formulações de inibidores de corrosão podem variar grandemente sua performance anticorrosiva, não possuindo todos a mesma classificação genérica. Os três tipos principais são:

### 5.1 Inibidores Anódicos

Como o nome diz, inibidores anódicos inibem a reação de corrosão no ânodo. É de grande importância a correta quantidade de sua aplicação: dosagens insuficientes podem falhar para eliminação de todos os pontos anódicos e ainda conduzir a altas taxas de corrosão entre as áreas catódicas e anódicas remanescentes, levando a aceleração da corrosão nestes ânodos remanescentes. A adição destes inibidores ao eletrólito (argamassas de reparo, p. ex.) deve conduzir a superfície das barras para os valores de potenciais e de pH da região de **passivação** no diagrama de Pourbaix representado acima na figura 1, onde a superfície está protegida por um filme passivo. Como exemplo, temos os inibidores à base de nitritos.

## 5.2 Inibidores Catódicos:

Reduz a reação no cátodo e impede o oxigênio, formador dos óxidos de ferro, de atingir o aço. Embora ele possa reduzir a velocidade de corrosão, geralmente é menos eficaz que os inibidores anódicos. A adição destes inibidores deve conduzir a superfície das barras para valores de potenciais da região de **imunidade** no diagrama de Pourbaix. Como exemplo temos os inibidores à base de zinco.

## 5.3 Inibidores Multifuncionais:

Possuem efeito sinérgico, combinando os benefícios dos dois outros tipos, em concentrações relativamente baixas. Aplicado na superfície do concreto ainda íntegra, com rolo ou aspersor, o inibidor penetra internamente tanto na fase líquida como na fase vapor, e ainda, devido à afinidade com o aço, forma película adsorvida de espessura de cerca de 100 a 1000 ângstrons na superfície da armadura. No concreto carbonatado, os hidróxidos na superfície do aço são deslocados (repelidos). No concreto impregnado por cloretos, desloca-os (tipicamente acima de 2%) da superfície do aço.

O inibidor reduz igualmente a dissolução de ferro no ânodo e o acesso de oxigênio no cátodo, gerando densidade de corrente desprezível e redução da velocidade de corrosão.

No presente artigo, foi empregado um inibidor comercial **SIKA FERROGARD 903**.

## 6 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DA CORROSÃO

Para a caracterização dos processos corrosivos em estruturas de concreto armado, é um procedimento recomendado a seguinte estrutura de investigações e ensaios de campo/laboratório:

- a) Inicialmente, uma vistoria detalhada e registro das anomalias para programação dos pontos de ensaios, que se compõe conforme segue:
- b) Demolição localizada de pontos característicos nas estruturas de concreto com sinais visuais de corrosão e pontos ainda sem estes sinais;
- c) Nos pontos de inspeção abertos conforme b), efetuar medição em campo da profundidade da frente de carbonatação mediante aspersão de reagente colorimétrico fenolftaleína e/ou timolftaleína e/ou fitas de pH, de forma a se conhecer à tendência da estrutura quanto à despassivação das armaduras;
- d) Nos pontos de inspeção abertos conforme b), efetuar medição em campo dos potenciais de corrosão (potenciais de eletrodo) existentes para o sistema concreto-aço, de forma a se conhecer o grau de probabilidade da ocorrência dos processos corrosivos eventualmente instalados ou insipientes;
- e) Determinação da resistência à compressão do concreto mediante a ensaio de cravação de pinos, nas áreas objeto da investigação, para se conhecer a tendência deste elemento (inferindo o grau de porosidade e o provável teor de cimento pela resistência mecânica obtida) na contribuição dos processos para melhor elaborar o projeto de recuperação;

- f) Retirada de amostras do concreto demolido para análise dos teores de cloretos totais, verificação exata do pH;
- g) Retirada de amostras de concreto para elaboração em laboratório de curvas de polarização anódica de forma a se determinar a cinética do processo corrosivo, ou seja a velocidade da corrosão, naquele ambiente em que está instalada a estrutura;
- h) Retirada seqüencial de material pulverizado mediante uso de furadeira, de modo a se traçar a progressão da contaminação por cloretos;
- i) Aplicação de inibidor de corrosão multifuncional em áreas de teste para monitoração de seus efeitos, de forma a se conhecer os recursos e as dosagens mais eficientes para a estabilização ou minoração dos processos corrosivos;
- j) Monitoração do comportamento dos potenciais de eletrodo nas áreas de teste conforme acima preparadas, de forma a se verificar tendência de estabilização;
- k) Nova retirada de amostras de concreto, conforme item g), sendo desta feita, nas áreas em que se aplicaram as amostras de inibidores de corrosão, para avaliação das alterações nos processos corrosivos por ensaios de laboratório;

## 6.1 Ensaios de Campo

### 6.1.1 Ensaios de Potenciais de Eletrodo

Trata-se de grandeza eletroquímica que indica a tendência de comportamento quanto a corrosão de um metal exposto a um determinado meio.

A Norma ASTM 876-91 "Half-Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete" apresenta correlação qualitativa e empírica entre o comportamento do potencial de eletrodo medido com relação a um eletrodo de referencia Cu/Cu(SO<sub>4</sub>) e a probabilidade de ocorrência de corrosão do aço nestas condições, segundo a tabela simplificada abaixo:

Tabela 1: Probabilidade de corrosão – ASTM 876-91

Potencial de eletrodo (mV <sub>esc</sub> )	Probabilidade de corrosão (ASTM 876-91)
$E > -200$	< 5%
$-200 > E > -350$	Incerta (50%)
$-350 > E$	> 95%

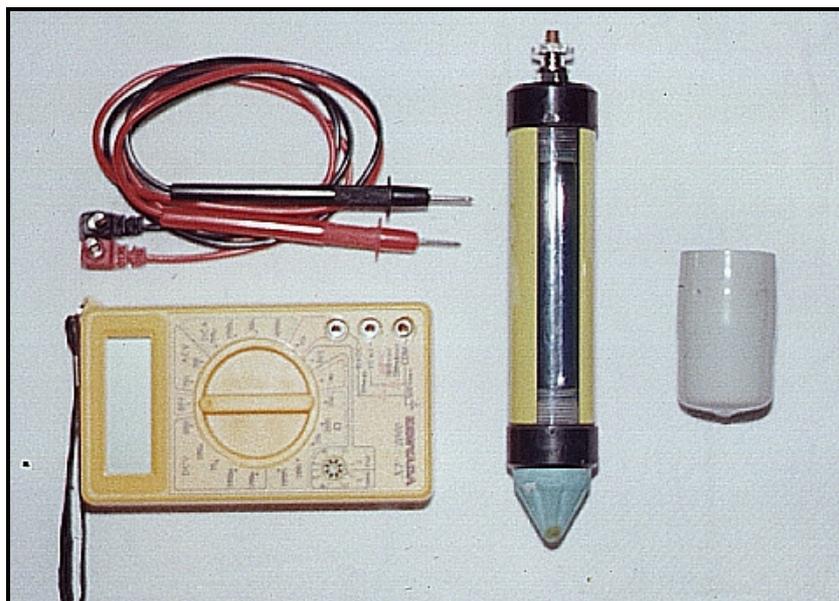


Figura 3: Semi-pilha para medição de potenciais de eletrodo.

## 6.1.2 Determinação da Resistência do Concreto

O método brasileiro de penetração de pinos, desenvolvido pelo Prof. Eng<sup>o</sup> Pontes Vieira, consiste da cravação de pinos de 55 mm de aço disparados por cartuchos CBC carga vermelha por equipamento Walsiwa e apresenta vantagens em relação ao método tradicional por esclerômetro ou martelo de percussão mecânica por se aplicar à concretos de qualquer idade, carbonatado ou não, peças de qualquer inércia e independe das curvas de calibração ou do agregado utilizado.

## 6.2 Ensaios de Laboratório

### 6.2.1 Ensaios de Teores de Cloretos Totais

Procede-se à extração de amostras para avaliação dos teores de cloretos totais, sendo os ensaios executados pelo método de determinação por volumetria em solução aquosa mediante reagente Nitrato de Prata.

Algumas normas fixam teores máximos admissíveis, acima dos quais, a probabilidade de se iniciarem processos corrosivos se torna importante.

Tabela 2: Teores admissíveis de cloretos

NORMAS	PAIS	TEOR ADMISSÍVEL (% sobre peso de cimento)
EH - 88	Espanha	0,40
EN - 206	Espanha	0,40
BS - 8110/85	Inglaterra	0,20 - 0,40 - função do tipo de cimento
ACI - 318/83	EUA	0,15 - 0,30 - 1,00 - função de condições ambientais
NBR - 6118/80	Brasil	NÃO VERSA SOBRE O TEMA

### 6.2.2 Cinética do Processo Corrosivo – Curvas de Polarização

As curvas de polarização anódicas (CPA) são representações da relação entre o potencial de eletrodo e a densidade de corrente, obtidas quando a superfície metálica está imersa num determinado meio. No presente caso o metal é o da estrutura e o meio é o concreto, de onde é preparado o estrato aquoso.

Com a finalidade de facilitar a compreensão das curvas de polarização, apresenta-se 3 esquemas teóricos abaixo.

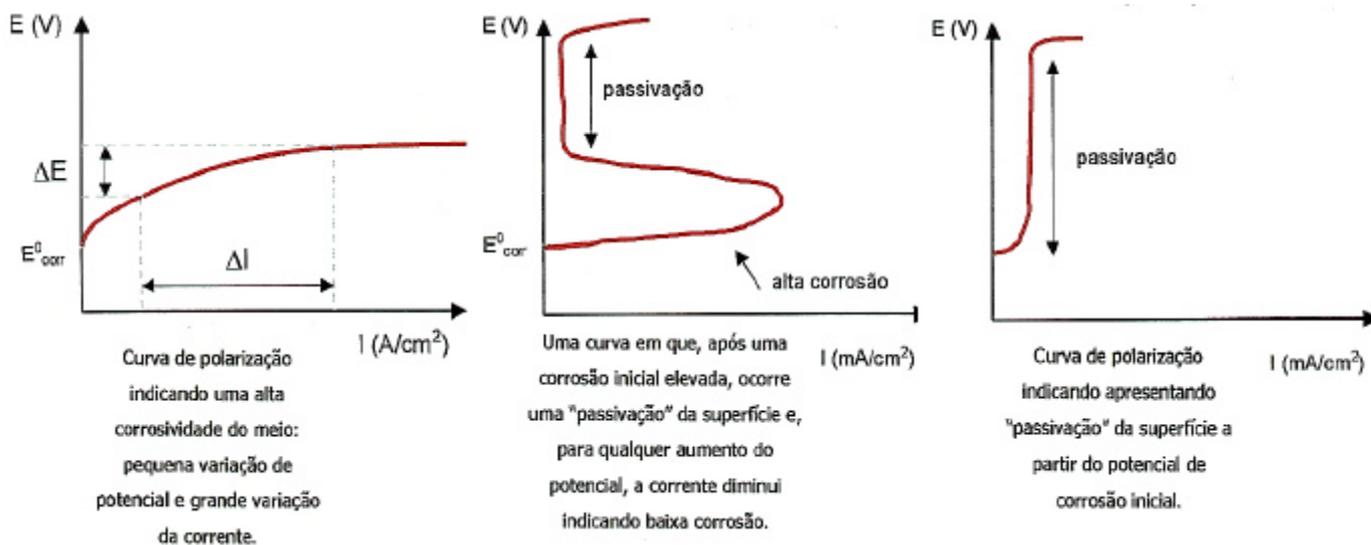
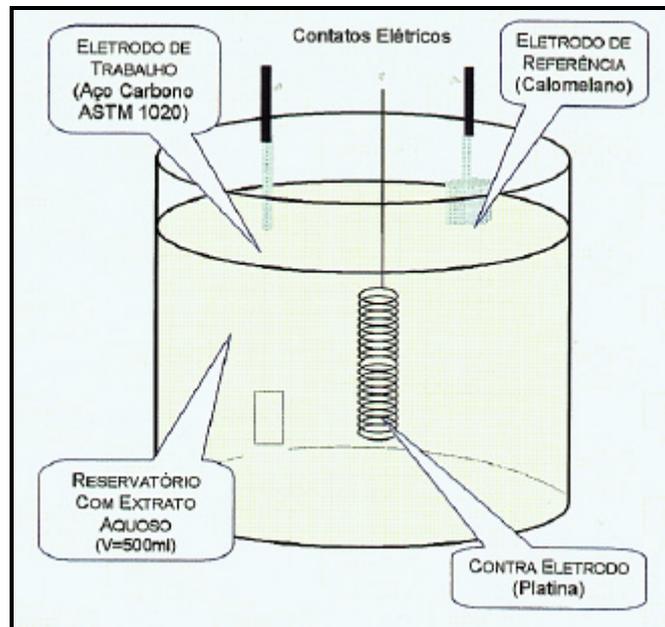


Figura 4: Possibilidades teóricas para curvas de polarização anódicas.

Em laboratório, se processa à simulação das condições de corrosão existentes na edificação mediante a variação dos potenciais de eletrodo e leitura da densidade de corrente em uma célula composta por eletrodo de platina, amostra do aço da estrutura (ou amostra do mesmo tipo metalúrgico) imersos em eletrólito composto pelo extrato aquoso que se obtém da moagem de amostras de cerca de 1 Kg do concreto da edificação.



**Figura 5: Aparato para tomada das medidas de potencial e corrente – Célula de ensaio.**

## 7 DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS - ESTUDOS DE CASO

Procede-se a análise de 3 casos práticos em que se diagnosticou a origem e dos processos de deterioração das estruturas, bem como o seu grau, e se procedeu à investigação da eficiência do inibidor de corrosão multifuncional, mediante emprego de ensaios de campo, de laboratório e das técnicas eletroquímicas.

### 7.1 Caso 1

#### 7.1.1 Caracterização da Estrutura

A estrutura e concreto armado aparente, executado *in situ*, construída em meados da década de 80, com 3 blocos de 14 andares tipo e um pavimento mecânico cada, pavimento de utilização comum, térreo e dois subsolos de estacionamento.

As fachadas da edificação são compostas por varandas em balanço de lajes, coroadas por vigas (muretas) semi-invertidas não estruturais.

Observou-se incidência de processos corrosivos nas fachadas por falha executiva; recobrimentos das armaduras, por vezes, inexistentes; ação constante dos ventos dominantes conduzindo cloretos; alta umidade.



**Figura 6: Aspecto da deterioração das fachadas. Figura 7: Vigas de prisma ventilação.**

### 7.1.2 Resumo dos Resultados

- a) Os potenciais de corrosão denotam alta probabilidade de corrosão, mantendo-se em valores mais negativos que  $-200 \text{ mV}_{\text{esc}}$ ;
- b) Alta porosidade do concreto executado, o que se denota pelos ensaios de carbonatação, em que, via de regra, o avanço da frente ultrapassa o nível das armaduras;
- c) Os teores de cloretos verificados são excessivamente altos, tendo-se medido teores de cloretos totais da ordem de 5% sobre o peso de cimento;
- d) Baixa resistência do concreto executado, constatado pelos ensaios de esclerometria;
- e) As curvas de polarização para a amostra de referência (azul – figura 8 abaixo) confirmam as altas probabilidades de corrosão obtidas em campo. Observa-se comportamento da CPA com patamar de passivação terminando já a partir de potenciais de eletrodo da ordem de  $-75 \text{ mV}_{\text{ecs}}$  ( $\approx -150 \text{ mV}_{\text{esc}}$ ), com valores de pico da intensidade de corrente da ordem de  $3 \text{ mA}$ , valor considerado como indicativo de alta taxa de corrosão. Tal comportamento é concordante com os índices de cloretos;
- f) Os ensaios de eficiência da ação do inibidor de uso tópico mostraram-se satisfatórios, tanto na equalização dos potenciais de eletrodo medidos e monitorados em campo, como na reversão das curvas de polarização para um aspecto em que se evidencia um maior patamar de passivação, ocorrendo até potenciais de eletrodo da ordem de  $+165 \text{ mV}_{\text{ecs}}$  ( $\approx +90 \text{ mV}_{\text{esc}}$ ) e menores valores de pico da intensidade de corrente, da ordem de  $0,5 \text{ mA}$ , migrando estes para valores considerados como de baixa atividade de corrosão. A equalização dos potenciais monitorados em campo para valores da ordem de  $-250 \text{ mV}_{\text{esc}}$  denota um mesmo comportamento em todos os pontos, convergindo com o ponto de início das curvas de polarização de laboratório que se dá para este valor (ver figura 8 abaixo).

Tabela 3: Monitoração ao longo do tempo de potenciais de eletrodo em campo sob ação de inibidor de aplicação tópica.

Ponto	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 19/11/99	Probabili- dade de corrosão (%)	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 5/12/99	Probabili- dade de corrosão (%)	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 10/12/99	Probabili- dade de corrosão (%)	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 21/12/99	Probabili- dade de corrosão (%)
11a	-190	5	-202	50	-230	50	-228	50
11b	-220	50	-174	50	-233	50	-223	50
11c	-320	95	-204	50	-242	50	-223	50

11d	-420	95	-285	50	-247	50	-261	50
11e	-220	50	-228	50	-232	50	-259	50
11f	-250	50	-210	50	-218	50	-233	50
12 <sup>a</sup>	-175	5	-204	50	-224	50	-218	50
12b	-145	5	-190	5	-226	50	-222	50
12c	-269	50	-197	5	-240	50	-218	50
12d	-210	50	-196	5	-240	50	-235	50
12e	-247	50	-208	50	-231	50	-255	50
12f	-290	50	-195	5	-217	50	-260	50
13 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-271	50	-235	50
13b	-	-	-	-	-278	50	-248	50
13c	-	-	-	-	-286	50	-242	50

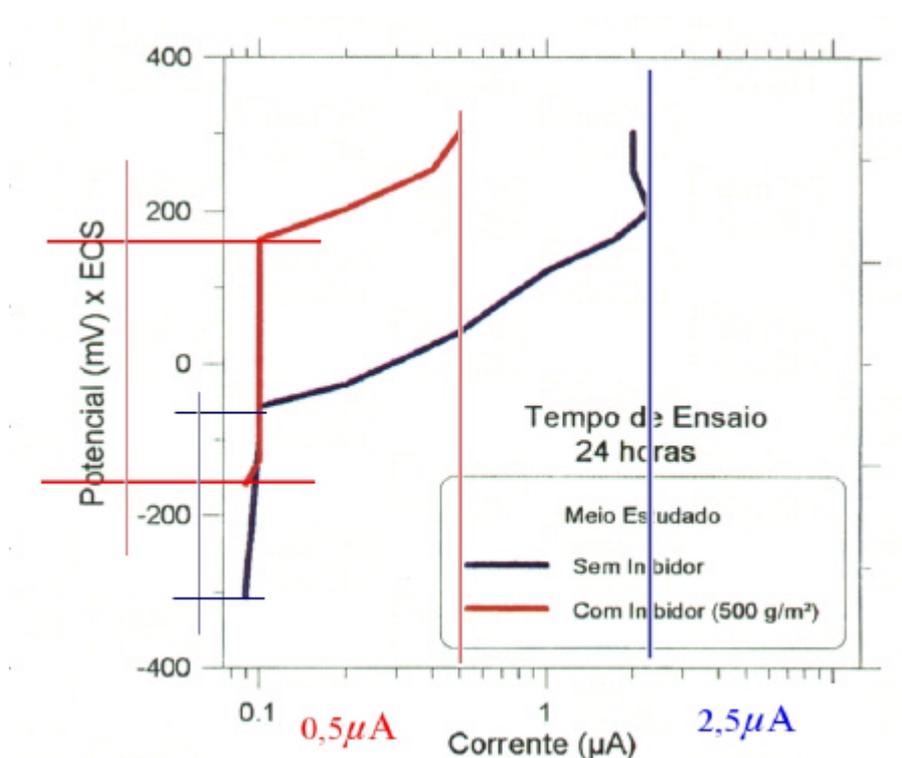


Figura 8: Curvas de Polarização Anódica de referência e de eficiência do inibidor

## 7.2 Caso 2

### 7.2.1 Caracterização da Estrutura

A edificação compõe-se estrutura de concreto armado executada *in situ*, em esquema estrutural que contempla, nos pavimentos tipo, a coexistência de elementos em viga e painéis em laje cogumelo, com alvenarias de vedação em blocos cerâmicos revestidos de argamassa, assentes sobre vigas ou lajes, sendo as varandas da edificação extensões dos trechos em lajes cogumelo com vigas de bordo em concreto aparente com função estrutural apenas de enrigecimento de bordo livre.

A estrutura data de meados da década de 80, composta por um bloco de 22 andares tipo e um pavimento mecânico, pavimento de utilização comum, térreo e dois pavimentos de estacionamento sendo um subsolo.



**Figura 9: Aspecto da deterioração das fachadas.**

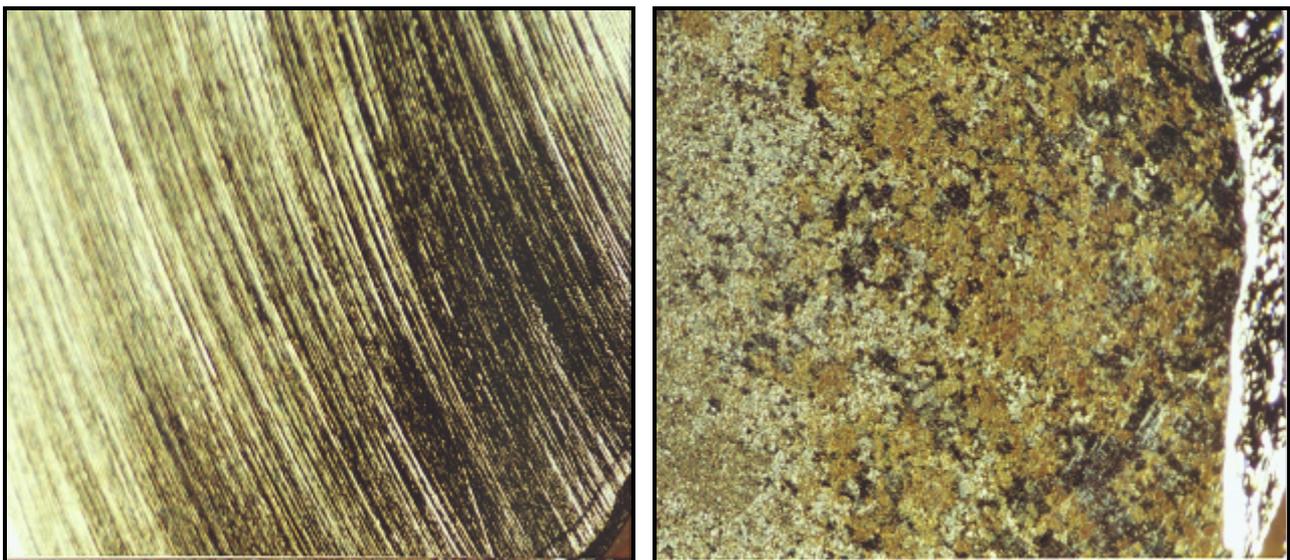


**Figura 10: Áreas de ensaio de aplicação de inibidor tóxico de corrosão e retirada das amostras para elaboração das curvas de polarização para ajuste de dosagem ótima**

### 7.2.2 Resumo dos Resultados

- a) Presença de processos corrosivos nas vigas de fachada em estado avançado; falha executiva com recobrimentos das armaduras por vezes inexistentes; má qualidade do concreto; ação constante dos ventos dominantes conduzindo cloretos à estrutura e a alta umidade;
- b) Via de regra, as armaduras encontram-se em processos corrosivos mesmo sem ainda apresentarem fissuração do concreto e recobrimento, verificado pelas janelas de inspeção realizadas para as medidas de potenciais e carbonatação;
- c) Intervenções de recuperação executadas anteriormente a cerca de 5 anos já apresentam falhas e reincidência de processos corrosivos, provavelmente em função da ausência de manutenção dos esquemas protetores das fachadas;

- d) A má qualidade do concreto, 18,2 MPa ( $f_{cm}$ ), na média;
- e) Alta porosidade do concreto executado, o que se denota pelos ensaios de carbonatação, em que, via de regra, o avanço da frente ultrapassa o nível das armaduras;
- f) Os teores de cloretos verificados são excessivamente altos, da ordem de 10% sobre o peso de cimento;
- g) O comportamento das curvas de polarização sem patamar de passivação, com valores de inflexão (traçado gráfico) da intensidade de corrente da ordem de 800 mA, apresentando grandes densidades de corrente já a partir de potenciais da ordem de  $-490 \text{ mV}_{\text{esc}}$  até o limite das leituras  $+130 \text{ mV}_{\text{esc}}$ , ou seja em toda a faixa de potenciais possíveis de ocorrer em concreto armado sob condições usuais. Tal comportamento indicado também é concordante com os índices de cloretos verificados, confirmando-se um conjugação elementos;
- h) Os ensaios de eficiência do inibidor mostraram-se altamente satisfatório tanto na equalização dos potenciais de eletrodo medidos e monitorados em campo, como na reversão das curvas de polarização para um aspecto em que se evidencia a migração do potencial de corrosão para valores mais positivos ( $-240 \text{ mV}_{\text{esc}}$ ) um maior patamar de passivação e valores de inflexão da intensidade de corrente para valores considerados como de passivação (0,32 mA). A equalização para valores da ordem de  $-240 \text{ mV}_{\text{esc}}$  denota um mesmo comportamento em todos os pontos monitorados em campo;
- i) As amostras de aço utilizadas nos ensaios de curvas de polarização anódica em laboratório confirmam a eficiência do tratamento pela não observância da incidência de processos corrosivos instalados ao final do ensaio de polarização (Figura 10 abaixo).



**Figura 10: Microscopia das amostras do aço utilizado para a elaboração das curvas de polarização em extrato aquoso preparado com concreto com aplicação em campo do inibidor (esquerda) e com concreto da mesma região sem aplicação de inibidor (direita).**

Tabela 4: Monitoração em campo de potenciais sob ação de inibidor

Ponto	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 23/5/00 (ref.)	Prob. de corrosão (%)	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 5/6/00	Prob. De corrosão (%)	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 10/7/00	Prob. de corrosão (%)	Potencial ( $\text{mV}_{\text{esc}}$ ) 28/7/00	Prob. de corrosão (%)
1a	-180	5	-230	50	-225	50	-228	50
1b	-210	50	-260	50	-250	50	-253	50
1c	-328	50	-290	50	-262	50	-260	50

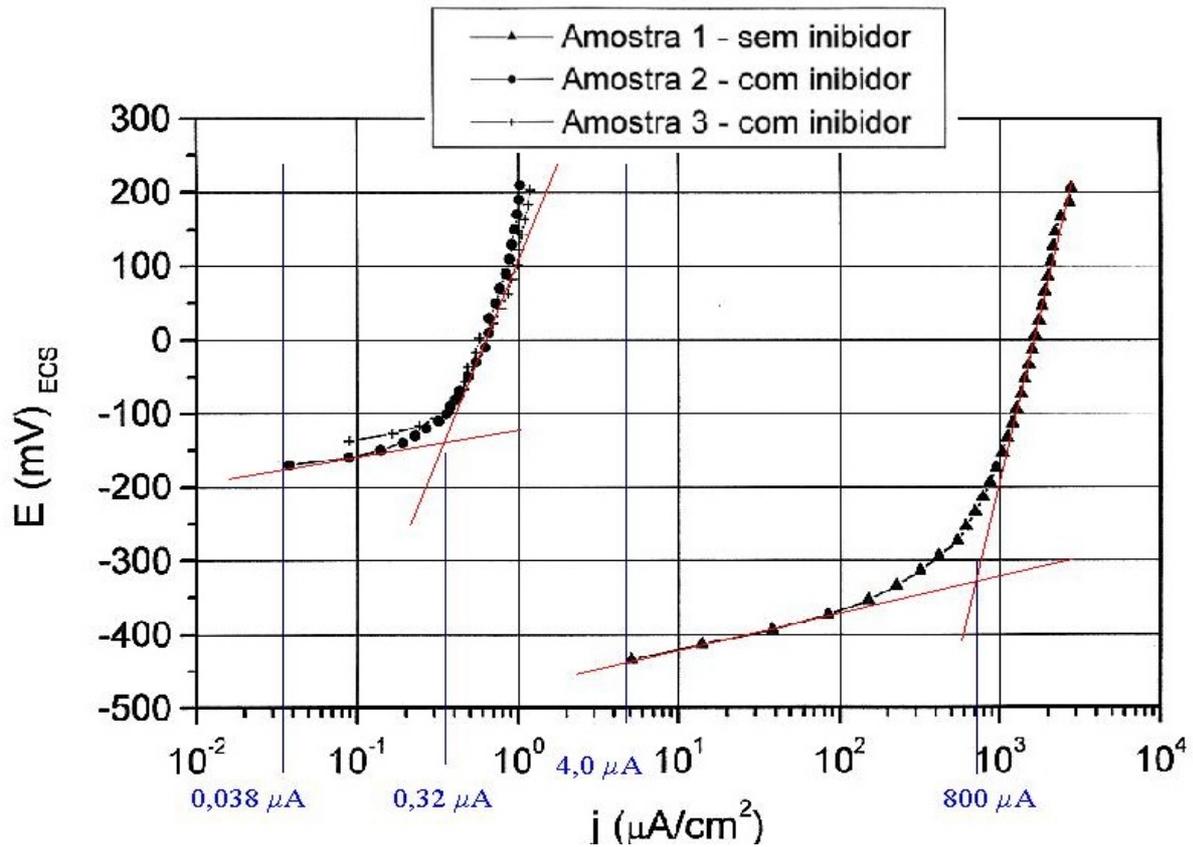


Figura 11: Curvas de Polarização Anódica de referência e de eficiência do inibidor.

### 7.3 Caso 3.

#### 7.3.1 Caracterização da Estrutura

As estruturas, bases de 3 tanques de GLP, compõem-se de elementos de concreto armado aparente, executados *in situ*, construída em meados da década de 70, sendo compostos por radiêres (lajes de fundação) nos tanques TQ 1 e TQ 3 e por estacas e blocos de coroamento no tanque TQ 2.

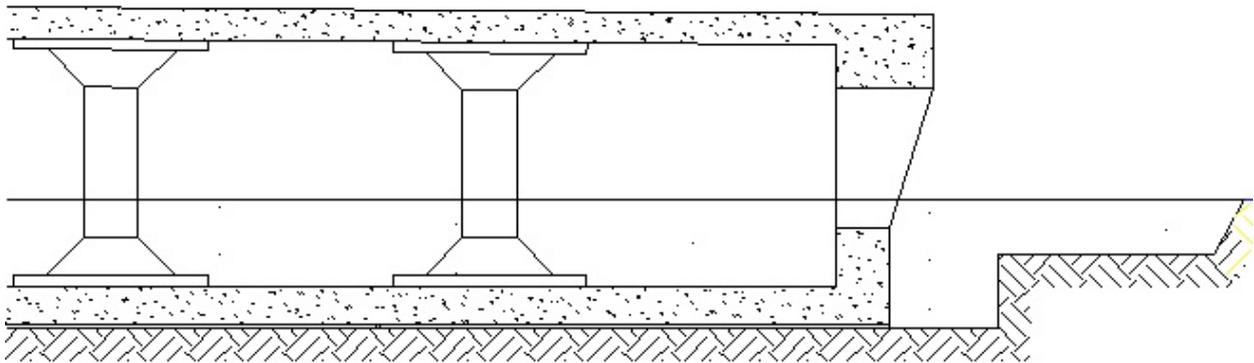


Figura 12: Corte da fundação do Tanque 1 evidenciando-se a laje em rediê.



**Figura 13: Aspecto típico de deterioração nos pilares.**

### 7.3.2 Resumo dos Resultados

- a) Presença de processos corrosivos nas armaduras das lajes superiores dos 3 tanques, notadamente onde as armaduras apresentavam falta de recobrimento;
- b) A presença de umidade permanente em função da condensação da umidade atmosférica proveniente do sistema de refrigeração dos tanques;
- c) A presença de processos corrosivos nos pilares, notadamente nos tanques 1 e 3, por serem estes elementos ligações físicas entre dois ambientes (atmosférico e subterrâneo saturado), com avançada corrosão nas zonas de transição;
- d) A inexistência de sistema de drenagem adequado permitindo que as estruturas enterradas (lajes em radiê) acumulem água proveniente das chuvas;
- e) Inexistência de revestimentos protetores tais como emboço de argamassa, pinturas especiais etc.;
- f) Nas partes expostas à atmosfera, notadamente nas armaduras das lajes, as leituras dos potenciais de corrosão indicam média probabilidade, com valores mais negativos que  $-100 \text{ mV}_{\text{esc}}$ ;
- g) Nas partes da estrutura em contato com o solo, os potenciais de corrosão apontam para valores mais negativos, indicando maior probabilidade de ocorrência destes fenômenos, notadamente nas zonas enterradas dos pilares do tanque 2 e lajes inferiores dos tanques 1 e 3;
- h) O mapeamento dos potenciais de corrosão ao longo da altura, em pilares dos 3 tanques, para o que se selecionou pilares em bom estado, médio estado e mau estado de conservação, se verificou haver uma tendência à potenciais mais positivos nas partes superiores e mais negativos nas partes inferiores, notadamente nos pilares do tanque 2, o

que confirma serem os processos observados decorrentes da coexistência nestas peças de 2 meios (atmosfera e solo);

- i) Os ensaios carbonatação apontaram para processos já avançados, quer nas lajes quer nos pilares, em seus trechos expostos, porém ainda me níveis de alcalinidade fracamente protetores das armaduras. Tal se evidencia pela coloração rosada dos ensaios colorimétricos e não vermelho forte como seria caso o concreto ainda mantivesse a alcalinidade protetora ( $\approx 10$ , pH);
- j) Os teores de cloretos verificados estão dentro dos limites considerados aceitáveis pelas normas que versam sobre o assunto, todavia deve-se denotar que não são os principais geradores dos processos verificados;
- k) As resistências mecânicas do concreto verificadas nos diversos pontos de inspeção, apontam para valores médios de 24 MPa ( $f_{cm}$ ), indicativo de relativa porosidade do material;
- l) As curvas de polarização confirmam a ocorrência de processos corrosivos instalados à taxas de média velocidade de corrosão, já indicadas pelas leituras de potencial de eletrodo. Em algumas situações observou-se altas ou altíssimas taxas de corrosão, notadamente nas regiões associadas com o contato com o solo. Tal comportamento verificado nas curvas de polarização (patamares de estabilização e correntes da ordem de 2 a 5 mA);
- m) Os ensaios de eficiência da ação do inibidor mostraram-se satisfatórios (equalização dos potenciais de eletrodo em campo e reversão do aspecto das curvas para um maior patamar de passivação) com valores de pico da intensidade de corrente para valores considerados como de baixa atividade de corrosão. A equalização para valores da ordem de  $-150 mV_{esc}$  denota um mesmo comportamento em todos os pontos monitorados em campo, com os ponto de início das curvas de polarização de laboratório.

Tabela 5: Comportamento dos potenciais de corrosão em pilares tomados ao longo de toda a altura de um pilar (zonas enterrada e exposta).

Tanque 2 – Pilar			2ª semana			3ª semana		
1ª semana								
30	-6	-40	-105	-30	-60	-105	-100	-80
20	-45	-110	-120	-50	-115	-141	-70	-115
-70	-100	-70	-70	-100	-60	-70	-90	-120
-160	-110	-160	-100	-126	-150	-130	-120	-130
-230	-170	-200	-220	-170	-200	-228	-170	-190
média	-94,7		média	-112		média	-124	
sd	79		sd	55,1		sd	44,4	
sd/média	-0,83		sd/média	-0,49		sd/média	-0,36	

Observa-se a tendência de redução na dispersão dos resultados lidos com o tempo e tendência de homogeneização dos valores de potenciais para valores pouco mais negativos, também dentro da faixa de 5% de probabilidade de corrosão

Observa-se na figura 14 abaixo, curvas de polarização de 2 amostras de pilar do tanque 3. Observa-se de redução das velocidades de corrosão (de  $5,3 \mu A/cm^2$  para cerca de  $1,4 \mu A/cm^2$ ).

Na figura 15 abaixo, curvas de polarização da água do terreno (tanque 3), onde se observa alteração completa no comportamento do meio na permissividade para com os processos corrosivos, indicando boa resposta do inibidor para esta condição crítica.

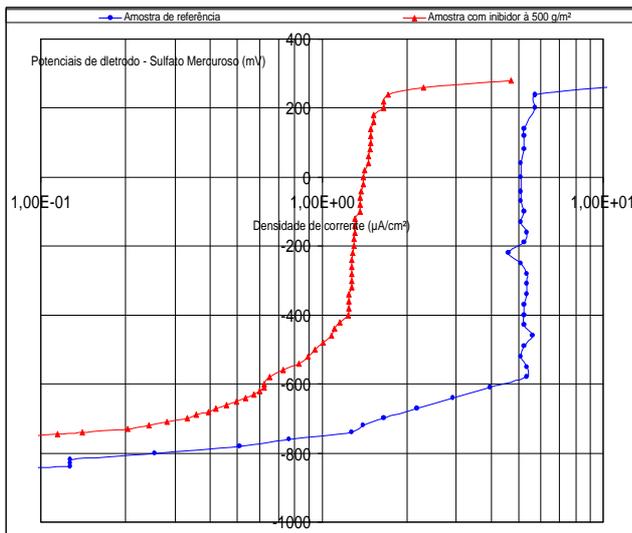


Figura 14: CPA em pilares.

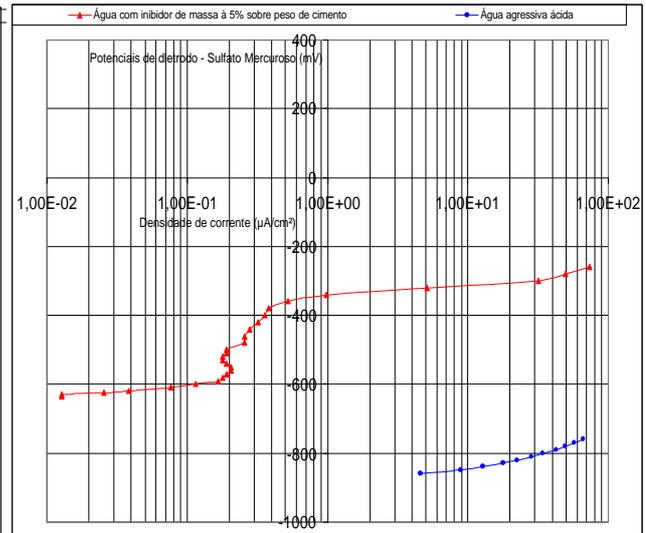


Figura 15: CPA no eletrólito.

## 8 CONCLUSÕES

O melhor caminho para determinar a eficiência de qualquer inibidor é por instalação de completo monitoramento da corrosão no campo. Medições isoladas com semi-pilhas podem fornecer indícios limitados da probabilidade de corrosão, não necessariamente informações sobre sua extensão ou velocidade. Um completo monitoramento envolve coleta de dados dos ensaios através da técnica de curvas de polarização por pontos embutidos no concreto ou superficiais. A interpretação e análise dos dados das medições deverá ser efetuado somente por técnicos especializados em corrosão de concreto armado.

Dos ensaios realizados nas áreas de aplicação do inibidor, observou-se reduções sensíveis nas correntes de corrosão (CPA's) embora os potenciais de corrosão monitorados em campo tendessem a migrar para valores mais negativos (em média  $-250$  mV nos dois primeiros casos), em aparente discordância com as faixas preconizadas pela a Norma ASTM 876-91. Todavia, observou-se a equalização dos potenciais em toda a área de teste, o que é indicativo de menor probabilidade de corrosão. É necessário adequar as indicações daquela Norma, para monitorações em ambientes com inibidores;

Em projetos de maior importância deve-se considerar no custo global aqueles destinados à monitoração da corrosão como estratégia geral de manutenção e recuperação.

Alguns estudos estimam um aumento da vida útil das estruturas em cerca de 15 à 20 anos.

Para permanecer efetivo por longo prazo, o inibidor dependerá sobretudo da estratégia geral de controle da corrosão. Na maioria dos casos, o inibidor deve ser usado tanto parcialmente quanto como sistema completo de recuperação e saneamento, inclusive antes de pinturas com películas protetoras ou hidrofóbicas.

O aumento da vida útil depende da performance individual dos componentes, principalmente das camadas protetoras.

Inibidores de corrosão não são mais “a nova brincadeira nas estruturas de concreto armado”. Sua aplicabilidade é eficaz face à existência de grande quantidade de referências de campo e de estudos em laboratórios.

A relação custo-benefício depende das características específicas da obra e em referências recentes, sua aplicação resulta em economias da ordem de 30% em relação aos sistemas convencionais.

Corretamente usados, os inibidores de corrosão podem agora proporcionar valiosa contribuição à longo prazo na estratégia de recuperação e manutenção de concreto armado.

## 9 BIBLIOGRAFIA

ASTM 876-91, American Society for Testing and Materials, “Half-Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete”, 1991.

CASCUDO, Oswaldo, “O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto Armado: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas”, Goiânia, UFG, 1997

CASCUDO, Oswaldo, “Contribuição ao Estudo e Emprego de Técnicas Eletroquímicas no Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto Armado”, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da USP, São Paulo/SP, 1991

COMITÊ 201 ACI., American Concrete Institute. (1991) “Proposed Revision of: Guide to Durable Concrete”, 1991.

FIGUEIREDO, Enio J. P., “Avaliação do Desempenho de Revestimentos para Proteção da Armadura contra a Corrosão através de Técnicas Eletroquímicas - Contribuição ao Estudo de Reparo de Estruturas de Concreto Armado”, Tese (Doutorado) 1º. e 2º. Volumes, São Paulo, 1994.

GENTIL, Vicente, “Corrosão”, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro RJ, 3ª. ed., 1996

MIRANDA, Luiz R. M., NOGUEIRA, Ricardo, “Medidas de Potencial de Eletrodo em Armaduras de Concreto: Avaliação do Estado de Corrosão”, In: Seminário Nacional de Corrosão na Construção Civil, Anais ABRACO, 1986.

MIRANDA, Luiz R. M., “Notas de Aula” do Curso de Corrosão Ministrado a Alunos de Mestrado, COPPE/UFRJ.

MORAES, J. A., “Avaliação do Grau de Corrosão das Armaduras por Medidas de Potenciais Eletroquímicos em pontos e Viadutos – Um Caso Real”, Tese (Mestrado), Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, 1997.

POURBAIX, Marcel., “Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions”, NACE, Houston, USA, 1974.

POURBAIX, Marcel, “Lições de Corrosão Electroquímica”, Cebelcor, Bruxelas, 3ª. ed., 1987.

RIBEIRO, Paulo de Tarso P., “Patologia das Estruturas de Concreto Armado”, Apostila, SENAI, Rio de Janeiro RJ, 2001.