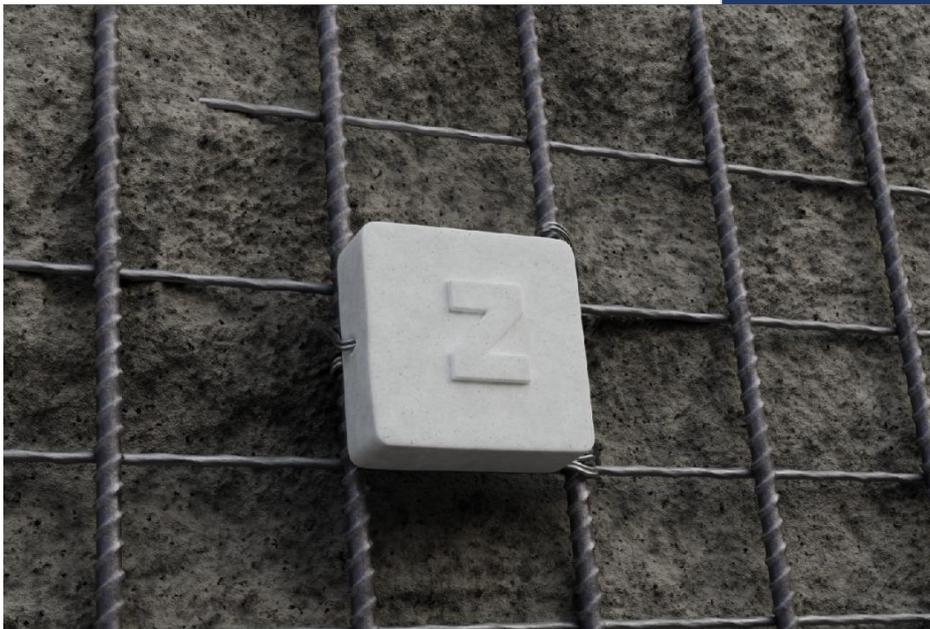




2022

# Guia Prático

INSTALAÇÃO DE PROTEÇÃO CATÓDICA COM ANODOS GALVÂNICOS



# GUIA PRÁTICO

## INSTALAÇÃO DE PROTEÇÃO CATÓDICA COM ANODOS GALVÂNICOS

### INDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CORROSÃO DO CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. CONCEITO DE CORROSÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. AGENTES CAUSADORES DA CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>8</b>
• CARBONATAÇÃO .....	8
• CONTAMINAÇÃO POR CLORETOS .....	9
• CONTAMINAÇÃO POR SULFATOS .....	10
• CONTAMINAÇÃO POR ACIDOS .....	10
<b>2.2. AVALIAÇÃO DA CORROSÃO .....</b>	<b>10</b>
• INSPEÇÃO VISUAL .....	11
• INSPEÇÃO COM A SEMI-PILHA.....	11
• PROFUNDIDADE DA CARBONATAÇÃO.....	15
• CLORETOS .....	15
• UMIDADE DE EQUILIBRIO.....	17
• SAIS SOLUVEIS .....	17
• RESISTIVIDADE DO CONCRETO .....	17
<b>3. RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL CONVENCIONAL .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. ENTENDA O PROBLEMA .....</b>	<b>20</b>
<b>4. RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL COM PROTEÇÃO CATÓDICA GALVANICA .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. A RELAÇÃO ENTRE ÁREAS ANÓDICAS E CATÓDICAS .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2. QUANDO UTILIZAR E COMO ESPECIFICAR A PC GALVÂNICA? .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3. COMO CERTIFICAR A PROTEÇÃO CATÓDICA GALVÂNICA? .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4. NORMAS APLICÁVEIS .....</b>	<b>32</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>

# PREFÁCIO

Praticamente todas as pessoas tem familiaridade com a corrosão, de uma forma ou de outra, seja na cozinha de sua casa, no seu automóvel ou na estrutura da garagem de seu prédio. Ou seja, a corrosão está em toda parte. A utilização do concreto armado, como material de construção, aumenta a cada dia, e do momento em que a estrutura é construída, começam a existir os perigos da corrosão em suas armaduras ou cabos de protensão. Naturalmente e felizmente engenheiros e técnicos, na construção civil, começam a entender que a corrosão nas armaduras do concreto, é mais crítica do que parece, percebendo que a simples utilização de argamassas ou grouts comerciais, específicos para “combater a corrosão nas armaduras do concreto armado”, é cara e perigosa, exatamente pelo fato de que pouco tempo depois, haverá mais corrosão e a questão da garantia estará à prova. A Rogertec, com quase 40 anos de experiência com produtos pertinentes à recuperação estrutural, desenvolveu e patenteou diversos tipos de anodos galvânicos para, efetivamente, interromper a corrosão nas armaduras do concreto armado, com a utilização de proteção catódica, exatamente para atender este sério problema, na medida em que a causa é eletroquímica e sua solução também é. Nosso corpo técnico também assessora engenheiros consultores, agências governamentais, além de outras solicitações acerca de soluções, para assuntos da corrosão no concreto armado-protendido.

Parabéns aos profissionais e felicitações da Rogertec, que idealizaram este trabalho ao meio técnico, que agora pode dispor de obra tão atualizada, interessante e completa, que contribui, sobremaneira, para a melhoria do entendimento da solução para a corrosão no concreto armado-protendido.

**Eng.<sup>a</sup> Patrícia Tinoco**  
**Diretora Rogertec**

## 1) INTRODUÇÃO

A degradação de estruturas de concreto armado, implica na diminuição de sua vida útil, o que compromete o desempenho estrutural da edificação. Dentre as anomalias causadoras desta deterioração, a corrosão das armaduras apresenta-se como uma das mais recorrentes e prejudiciais, podendo estar associada a outras manifestações patológicas, decorrente de erros de projeto e/ou executivos, principalmente em ambientes de elevada agressividade ambiental. A corrosão pode ser entendida como a deterioração do aço da construção, motivada pela ação química ou eletroquímica do meio ambiente, com a possibilidade de estar aliada ou não a esforços mecânicos. Assim, ocorre a liberação de energia do metal para o meio ambiente, tendo em vista que encontra-se em nível energético superior ao metal que lhe deu origem. Neste sentido, torna-se possível que o processo de corrosão apresente-se de duas formas, com vistas a sua natureza: corrosão química e eletroquímica. A corrosão das armaduras do concreto armado, ocorre em meio aquoso, sendo de natureza eletroquímica, conduzindo a formação de óxidos/hidróxidos de ferro, chamados “produtos da corrosão”. A princípio, as armaduras inseridas nos elementos estruturais, estão protegidas e passivadas contra a corrosão. Esta proteção é entendida como uma barreira física, devido ao cobrimento do concreto, que atua contra o ingresso de agentes externos, e principalmente pela proteção química em razão da alta alcalinidade do concreto. A perda ou ruptura desta proteção, provoca um processo de deterioração, de forma progressiva e autoacelerante, ainda que localizada. Com relação aos mecanismos de deterioração das armaduras, ressalta-se que sua corrosão, nas estruturas de concreto armado, ocorre se houver a despassivação por carbonatação ou pela contaminação por cloretos, aliada a presença de água e de oxigênio. Esse fenômeno patológico, vem sendo abordado a pelo menos 30 anos, em larga escala, no Brasil, considerando-se o efeito nocivo sobre a estrutura. Além disso, é um dos maiores e mais frequentes problemas relacionados à durabilidade das estruturas de concreto armado. Entretanto, no Brasil, não existem normas que especifiquem ou controlem técnicas e materiais de recuperação estrutural, muito menos resultados que enfatizem a eficiência dos métodos empregados. Adicionalmente, existe uma grande dificuldade, por parte dos profissionais de projeto e execução de obras, em adotarem medidas de proteção dessas estruturas contra a corrosão, pois os sintomas visíveis desse processo surgem apenas depois de vários anos, podendo ser após, apenas, 5 anos. Ressalta-se que o estudo referente à corrosão das armaduras, não se limita à busca de medidas profiláticas, que dizem respeito aos métodos de prevenção de sua degradação ao longo do tempo. Nesse sentido, é fundamental a obtenção de intervenções corretivas eficazes. Caso este fenômeno patológico não seja evitado, ou mesmo solucionado o quanto antes, e com técnicas corretas, pode se desenvolver e levar a estrutura ao colapso, colocando vidas humanas em risco. Aliada a esta constatação, o problema da deterioração das estruturas de concreto armado, resultante do processo de corrosão, apresenta-se em todo o território nacional, sendo evidente maior preocupação com relação às zonas costeiras. Assim, este guia prático, tem como objetivo comentar as técnicas de prevenção e recuperação de estruturas de concreto armado, considerando seu inerente processo de corrosão, visando contribuir para sua real preservação.

## 2) CORROSÃO DO CONCRETO ARMADO

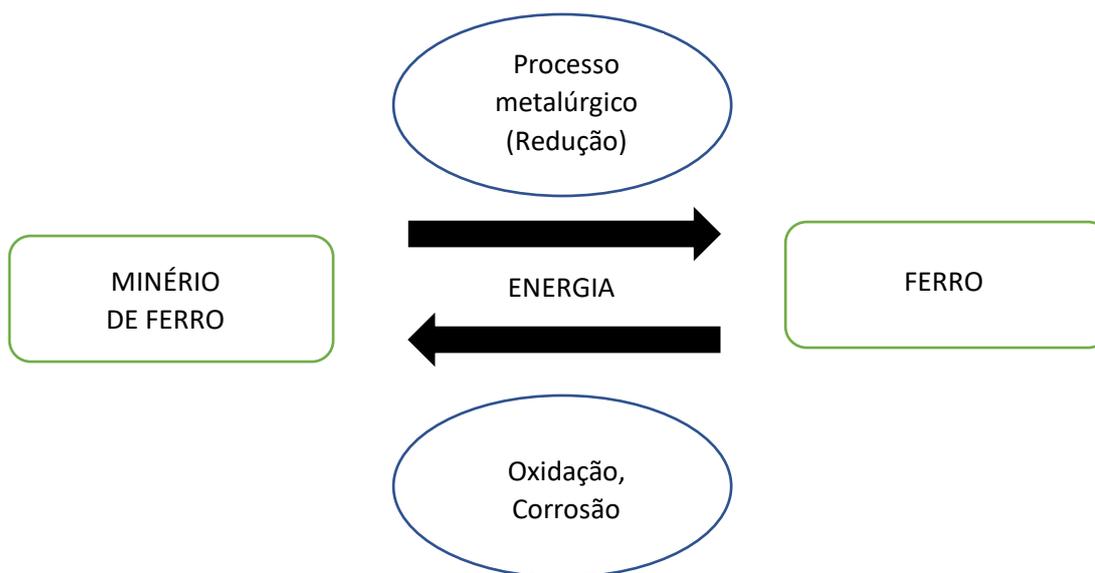
### 2.1. CONCEITO DE CORROSÃO

A corrosão das armaduras do concreto, é um dos problemas mais triviais e, apesar de ser uma manifestação patológica comum, por muitas vezes, é desafiador encontrar a razão deste problema, que pode ser entendido como:

“interação destrutiva do aço, com o meio ambiente, como resultado de reações elétricas, de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração.”

O ferro tem tendência a sempre retornar ao seu estado original, antes de passar pela metalurgia ou siderurgia. Seu estado natural, é formando compostos estáveis na forma de óxidos e hidróxidos. Quando é processado, recebe energia para adquirir o estado metálico. No entanto, ao entrar em contato com o meio ambiente, o metal reage espontaneamente, tornando-se um composto mais estável, novamente. O Ferro, quando reage com o meio ambiente, transforma-se em  $Fe_2O_3$ , conhecido como ferrugem, que é mais estável que o ferro metálico. Este fenômeno de perda de elétrons, por parte do ferro, é chamado de oxidação. No entanto, em estruturas de concreto armado, é preferível chamá-lo de corrosão, pois sempre ocorre em presença de água e nas condições do ambiente, enquanto a oxidação é um processo comum, que se dá mesmo sem água.

Na figura, a seguir, há um diagrama para melhor entendimento do processo de corrosão.

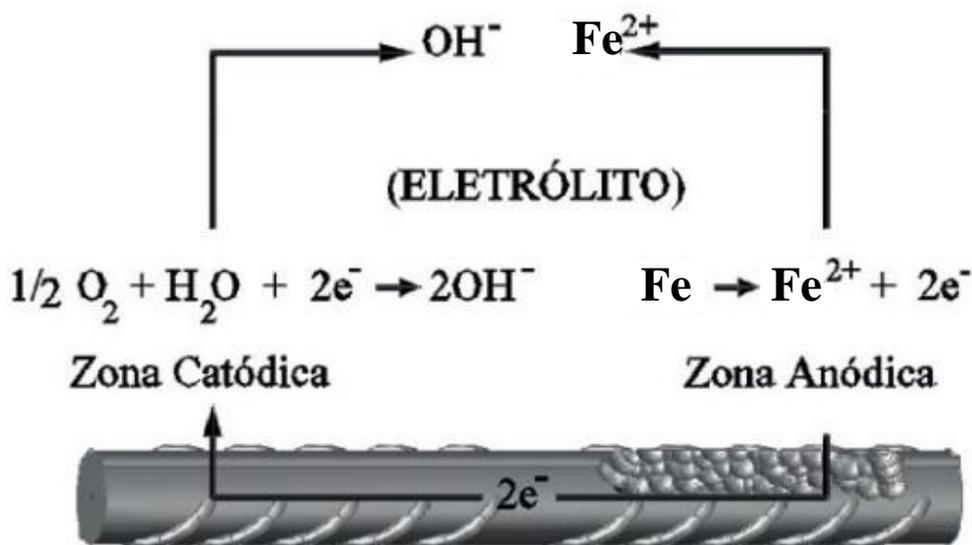


**Figura 1: Processo de corrosão.**

O processo de oxidação pode ocorrer de duas formas: por meio da corrosão química ou eletroquímica. Esta última, é a forma de corrosão mais importante e preocupante para a construção civil, pois pode atingir graus de deterioração bastante significativos. Na corrosão

química, o metal reage diretamente com os gases presentes no meio, formando película uniforme e contínua de óxido de ferro, muito lenta e é significativa a altas temperaturas. No caso das armaduras, esta película que se forma através da corrosão química, pode ser chamada de carepa. Normalmente, a carepa ocorre ainda durante a fabricação das barras de aço, e como não há a presença de água, torna-se uma película uniforme, compacta e pouco permeável, protegendo o aço até mesmo contra a corrosão úmida. Quanto a corrosão eletroquímica, o aço sofre processos de oxidação e redução simultâneos (oxirredução), com circulação de íons, através do eletrólito presente no concreto (água, umidade ou solução aquosa). Na reação de oxidação, parte do ferro libera elétrons e transforma-se em cátion. Na reação de redução, outra parte do ferro recebe elétrons e se transforma em anodo. Este processo implica na formação de uma pilha eletroquímica, onde a região do anodo sofre oxidação e a região do cátodo sofre redução. Desta forma, estabelece-se uma diferença de potencial entre estas regiões, onde o ânodo tem potencial mais eletronegativo.

Na figura 2, a seguir, representa-se o processo de corrosão eletroquímica.



**Figura 2: Representação esquemática do processo de corrosão eletroquímica do aço.**

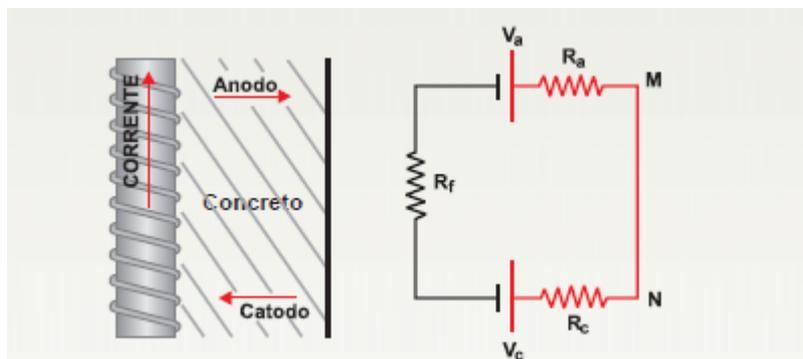
O processo corrosivo é uma célula eletrolítica ou galvânica, formada por dois eletrodos, com duas reações químicas, uma que cede elétrons (íons metálicos carregados positivamente) e outra que recebe elétrons (íons não metálicos carregados negativamente). Há, então, fluxo de elétrons e íons em um meio solúvel, em prol da neutralidade elétrica da pilha formada.

Os componentes desta pilha eletroquímica, estão simplificada e listados abaixo:

- Anodo – ocorre a oxidação (corrosão), quando a corrente elétrica, na forma de íons metálicos positivos, entra no eletrólito;
- Catodo – ocorre a redução, provocada pelos elétrons (cargas negativas), de onde sai a corrente elétrica;
- Eletrólito – condutor, normalmente líquido, de íons que transportam a corrente elétrica do anodo para o catodo;
- Circuito metálico – ligação pela própria armadura, para o fluxo de elétrons no sentido anodo-catodo.

A pilha quando tem qualquer um de seus componentes extraídos, é eliminada e, com ela, as possibilidades de corrosão caem. Como a barra de aço é o próprio elemento anódico, não deve ser retirado e sim protegido com revestimentos protetores e/ou proteção catódica.

Há uma variação de potencial no aço do concreto, causada por diversos fatores em suas propriedades. A superfície das barras, que compõem a armadura torna-se, então, grandes áreas catódicas e anódicas, ou seja, pilhas de corrosão, conforme representação da Figura 3.



**Figura 3: Circuito elétrico de uma pilha simples**

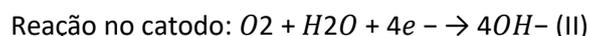
Então, a pilha é representada por uma diferença de potencial, entre seus eletrodos, em circuito aberto – força eletromotriz. Tem-se que:

$$E_{pilha} = E_{catodo} - E_{anodo}$$

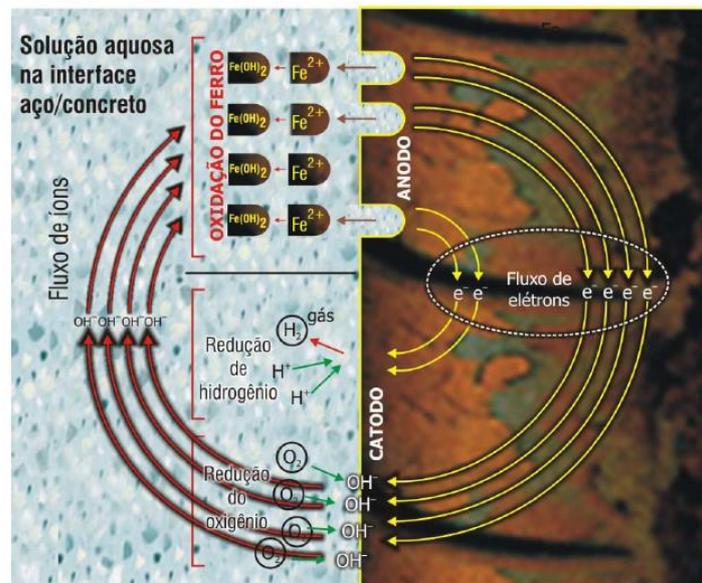
A NBR 6118-2014 – projeto de estruturas de concreto armado – Procedimentos, diz que:

Estruturas de concreto armado devem ser projetadas e construídas de modo que, sob condições ambientais previstas na época do projeto, e quando utilizadas conforme preconizado, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil. Ocorre que a corrosão no concreto armado implica severamente sobre as condições de estabilidade e durabilidade da estrutura, pois é um processo de destruição total, parcial, superficial ou estrutural, que acomete o concreto ou sua armadura. No caso deste guia prático, o objeto é a corrosão na armadura, que traz como primeira consequência, a perda de aderência na interface barra-concreto, extraviando-se, assim, boa parte da característica de tração, fornecida pela barra ao concreto, dimensionada para a segurança da estrutura. A ferrugem é o processo eletroquímico, que surge logo em seguida a perda da aderência da barra ao concreto, caracterizada pela oxidação do ferro, que se expande devido ao volume maior exigido pelos óxidos, gerando sobretensões que resultam em fissuras e problemas estruturais graves, reduzindo seu tempo de vida e gerando grandes perdas econômicas.

O concreto tem como proteção às armaduras seu pH básico – em torno de 12,5 e uma barreira física. Entretanto, sua característica pseudo-sólida, material poroso que dependendo das condições climáticas, do nível de agressividade do ambiente e do contexto no qual foi produzido, invariavelmente terá a umidade adentrada. Na presença da água, ocorrem fluxos de elétrons, surgindo correntes elétricas que alimentam as duas reações (I e II) expostas a seguir.

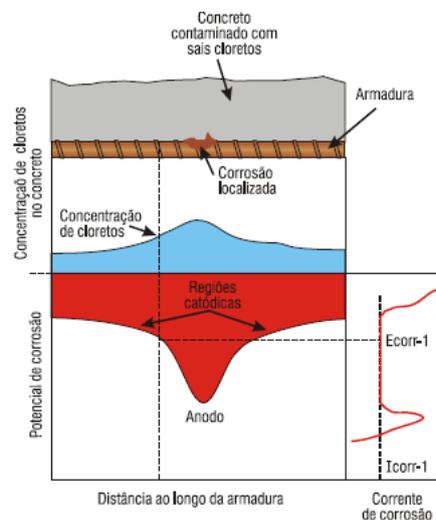


Ambas as reações, acontecem simultaneamente: enquanto o íon ferroso  $Fe^{2+}$ , principal elemento do aço, desloca-se do anodo para o catodo, o íon hidroxila  $OH^-$  vem no sentido contrário, carregado de cargas negativas, como mostra a Figura 4.



**Figura 4: Processo de oxidação e redução na armadura de concreto armado.**

O concreto armado, ainda conta com riscos patológicos devido à corrosão iniciada por contaminação de íons cloro, sulfatos e ainda ao processo de carbonatação, muito comum em ambientes com alto teor de poluição. Uma situação interessante da corrosão no concreto armado, é o seu formato por pites, condição extremamente localizada, a qual cria pequenos orifícios que penetram o aço, devido a perda da passivação em uma pequena área, que se torna anódica comparada a outra vasta área, então, catódica. Esta corrosão, acontece quando a concentração de hidróxidos - película passiva na superfície da armadura - é superada. Três fatores são os responsáveis pelo seu desencadeamento: a concentração de hidróxidos nos poros adjacentes, a concentração de outros íons negativos e a existência de correntes galvânicas, que influenciam no fluxo de cloretos para áreas anódicas. A Figura 5, mostra a corrosão localizada na armadura por contaminação de sais cloretos. Nota-se, também na ilustração, as áreas catódicas e do anodo através da curva potencial de corrosão.



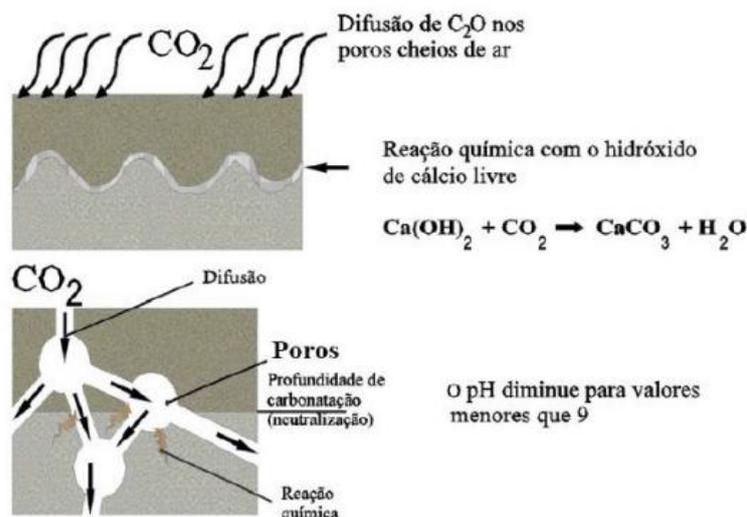
**Figura 5: Corrosão localizada.**

## 2.2. AGENTES CAUSADORES DA CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO

As armaduras do concreto armado, em um primeiro momento, estão protegidas da corrosão, devido a barreira física formado pela camada de recobrimento e pela sua alta alcalinidade. Em geral, a perda desta proteção se dá através da ação de agentes agressivos, oriundos de fontes externas à estrutura. A passivação, pode até mesmo nem ser alcançada, devido ao fato de que altos teores de elementos agressivos podem ser, involuntariamente, incorporados ao concreto, durante o processo de dosagem e amassamento. Os principais agentes causadores da corrosão são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e cloretos (Cl<sup>-</sup>). No entanto, outros fatores também contribuem para a deterioração das estruturas de concreto, como as reações álcali-agregado, ataques por sulfatos, biodegradação, ataques por ácidos, dentre outros. Cada um deles apresenta uma forma de deterioração, com consequências diferentes. Vamos entender:

- **CARBONATAÇÃO**

O concreto tem elevada alcalinidade, devido a presença do hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), oriundo das reações da hidratação do cimento. Porém, quando é exposto à gases, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), seu pH é reduzido, transformando os compostos do cimento em carbonatos. Este fenômeno é chamado de carbonatação. Como o concreto é um material poroso, ou um falso sólido, o CO<sub>2</sub> presente no ar, penetra facilmente em seu interior, causando a reação com o hidróxido de cálcio e, conseqüentemente, a carbonatação. Na representação esquemática da figura abaixo, é possível visualizar este processo. Desta forma, um concreto com alta alcalinidade (pH > 12,0), passa a ter seu pH diminuído a valores abaixo de 9,0, o que faz com que a armadura eletroquimicamente exposta, inicie um processo de corrosão.



**Figura 6: Representação esquemática do processo de carbonatação**

Caso haja presença de água, juntamente com o excesso de CO<sub>2</sub>, outra reação pode ocorrer, levando a formação do bicarbonato de cálcio, conforme equação abaixo, que representa um composto ácido, reduzindo o pH do concreto a valores quase neutros. Neste caso, a corrosão do aço pode ser catastrófica.



Portanto, a carbonatação apesar de não causar diretamente o processo de corrosão, contribui decisivamente para a degradação do concreto, pois no momento em que o pH

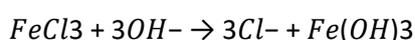
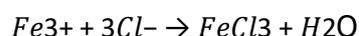
baixo atinge a superfície da armadura, a película passivadora é rompida, e o processo de corrosão começa.

Alguns fatores, influenciam o processo de carbonatação, como apresentado a seguir:

1. **Relação água/cimento:** como a penetração do CO<sub>2</sub> ocorre por meio dos poros do concreto, quanto mais poroso, mais facilmente esta penetração ocorre; ou seja, quanto maior a relação água/cimento utilizada, mais rápida será a penetração do CO<sub>2</sub> no concreto;
2. **Consumo e tipo do cimento:** cimentos com adição pozolânica, tem menor reserva alcalina, devido a sua composição química, se comparado ao cimento Portland puro. Com a alcalinidade menor, mais rápido será o avanço da carbonatação;
3. **Presença de adições minerais:** as características e composição química e mineralógica dos materiais empregados no concreto, determinam o seu comportamento. Sua incorporação, principalmente de materiais de origem pozolânica, melhoram a microestrutura do concreto, diminuindo a porosidade, porém, apresentam menor reserva alcalina;
4. **Condições de cura:** a medida em que o processo de cura for mais eficiente, e o cimento for mais hidratado, menor será a sua porosidade e permeabilidade, e conseqüentemente a taxa de carbonatação será menor;
5. **Presença de fissuras:** a presença de fissuras facilita a entrada de CO<sub>2</sub> no concreto, e aumenta a taxa de carbonatação;
6. **Concentração de CO<sub>2</sub>:** quanto maior a concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente, maior será a taxa de carbonatação, principalmente em concretos com alta relação água/cimento;
7. **Umidade relativa do ar e grau de saturação dos poros:** o grau de saturação dos poros do concreto está associado a umidade relativa do ar. Quando os poros estão totalmente saturados, praticamente não há passagem de CO<sub>2</sub> entre eles. Quando estão secos, o CO<sub>2</sub> passa facilmente, porém sem a água, a reação da carbonatação não acontece. No entanto, quando os poros estão parcialmente preenchidos com água, o CO<sub>2</sub> penetra facilmente e há água para reação. Esta é a situação mais favorável e rápida para o avanço da carbonatação;
8. **Em temperaturas:** muito altas, a velocidade da carbonatação aumenta. A temperatura e a umidade influenciam diretamente na existência de vapor ou saturação dentro dos poros, variando a velocidade da carbonatação.

- **CONTAMINAÇÃO POR CLORETOS**

Dentre os agentes causadores da deterioração das estruturas de concreto armado, o cloreto é o mais comum, podendo ser incorporado involuntariamente durante o seu preparo, por meio de aceleradores de pega, agregados e água contaminados, além de tratamentos de limpeza. Os cloretos, quando penetram no concreto, parte deles ligam-se quimicamente com compostos que tem aluminatos (C3A e C4AF), formando o sal de Friedel (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.CaCl<sub>2</sub>.10H<sub>2</sub>O), e parte é adsorvida pelo gel amorfo do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), sendo que outra parte fica livre para agir no processo corrosivo. Esta parte livre é que pode destruir a película passivadora, fornecida pelo meio alcalino do concreto, e acelerar a corrosão sem consumir-se, conforme equações a seguir:



O uso de aditivos minerais, como metacaulim ou escórias de aciaria, podem aumentar a resistência contra a ação dos cloretos, devido a maior formação do sal de Friedel. Partículas de elevada finura (filler), podem interromper a conectividade entre os poros, impedindo o

transporte dos cloretos. Concretos com elevada resistividade ou secos, não terão água suficiente em seus poros para transportar íons cloreto até a armadura, e o processo corrosivo tenderá a não ocorrer. Ao contrário, quando a umidade do concreto atinge um valor crítico, o processo de corrosão acontece de forma mais acentuada, e tende a piorar caso existam, também, substâncias poluentes. Estruturas de concreto, localizadas em ambiente marítimo, tem a tendência de absorver, com mais facilidade, a salinidade do ar, impregando-se de cloreto de sódio, devido aos ciclos de molhagem e secagem. Este fenômeno pode agravar o problema da corrosão nas armaduras, propiciando a cristalização do sal no interior do concreto, dando origem a manifestação patológica conhecida por “pele tipo cebola cortada”.

- **CONTAMINAÇÃO POR SULFATOS**

Sulfatos são extremamente agressivos, quando em contato com o concreto armado. Seu ataque envolve a formação de cristais, com elevada capacidade expansiva que, por consequência, causam fissuração. O ataque por sulfatos, pode ser caracterizado pela formação da etringita tardia  $[Ca_6Al_3(SO_4)_3(OH)_{12}.26.H_2O]$ , que ocorre quando o concreto já está endurecido. Outros fatores, que contribuem para este fenômeno, são as características físico-químicas do cimento utilizado, um ambiente altamente úmido, e presença de íons sulfatos dissolvidos, que ingressam no concreto por meio da microestrutura de seus poros.

- **CONTAMINAÇÃO POR ÁCIDOS**

Devido ao fato do concreto ser um material extremamente alcalino, qualquer contato com ácidos é preocupante. A agressividade de soluções ácidas, depende do tipo dos sais formados e da solubilidade iônica. Quanto maior a solubilidade, mais agressiva é a solução ácida. A ação dos ácidos, sobre o concreto, altera o equilíbrio químico dentro dos seus poros, causando a desagregação da matriz cimentícia. Em ambientes industriais, os gases poluentes entram em contato com o hidrogênio e o vapor de água da atmosfera, formando a chuva ácida, que causará a desagregação da matriz cimentícia devido ao baixo pH. Em ambientes que tem presença de esgoto, há muitas bactérias que são responsáveis pela formação do ciclo do enxofre, onde há formação do ácido sulfúrico, que também degradará o concreto.

### 2.3. AVALIAÇÃO DA CORROSÃO

Nem sempre o estudo do processo de corrosão, nas armaduras do concreto armado, está somente ligado a deterioração das armaduras em si. Condições do concreto e de sua proteção, são importantes para uma análise mais assertiva do problema, fornecendo melhor diagnóstico. A avaliação e o monitoramento da corrosão, em estruturas de concreto armado, podem ocorrer de diversas formas. O primeiro passo, é a inspeção visual que, não sendo suficiente, para a formação de um diagnóstico, passa-se a uma anamnese do problema, ou seja, coleta de informações orais e recuperação de todos os dados disponíveis da obra. Caso ainda não seja suficiente, o próximo passo será a inspeção detalhada, efetuada tanto em campo, diretamente sobre a estrutura, como em laboratório, em amostras coletadas, analisando-se ensaios como profundidade de carbonatação, teor de cloretos, teor de umidade, teor de sais solúveis, resistividade, entre outros. Os ensaios da profundidade da carbonatação e da determinação do teor de cloretos, são imprescindíveis para determinação das causas da corrosão. Os demais são

complementares e ajudam a julgar a qualidade da estrutura do concreto, a qualidade do processo corrosivo, a velocidade de propagação, dentre outros.

- **INSPEÇÃO VISUAL**

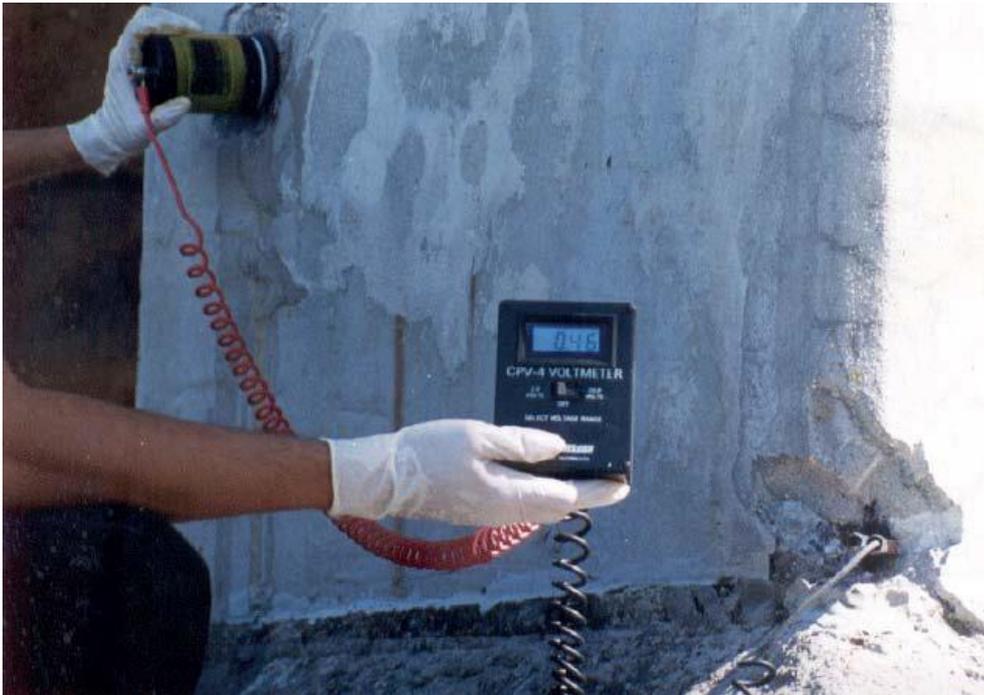
A inspeção visual, realizada a olho nu ou por meio de fotos e vídeos, é a técnica mais usada para avaliação do estado de corrosão, em estruturas de concreto armado. Nesta etapa, deve-se procurar por regiões com deterioração aparentes e locais onde há possibilidade de serem encontradas anomalias, mesmo que não sejam aparentes. Também é possível avaliar as áreas onde pode ser necessário a inspeção detalhada, e quais ensaios e medições deverão ser realizados. Geralmente, os sinais mais frequentes, indicadores da corrosão, são manchas acastanhadas sobre a superfície do concreto, fissuração, desagregação e eflorescências. A inspeção visual, confirma o processo corrosivo e, em raros momentos, consegue antecipar outros problemas que estejam em formação. Desta forma, em alguns casos, é de extrema necessidade que a inspeção seja planejada, a fim de que se tenha um diagnóstico mais preciso, com um custo de recuperação menor.

- **INSPEÇÃO COM A SEMI-PILHA**

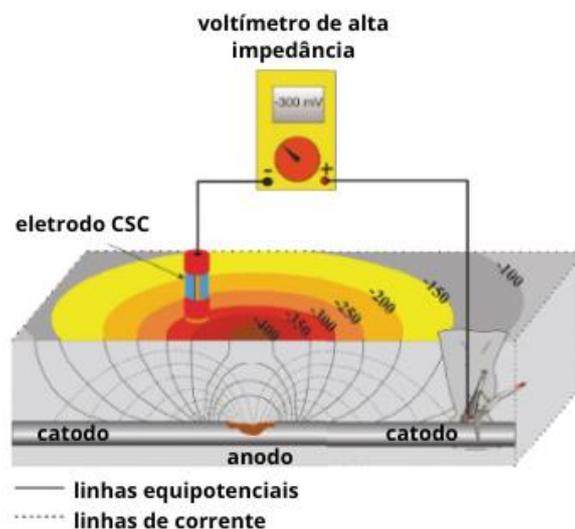
A corrosão nas armaduras do concreto, é um processo eletroquímico com o meio ambiente, em que o aço sofre processo inverso das reações metalúrgicas para sua obtenção. A medição do potencial eletroquímico, existente nas armaduras, indica a possibilidade da ocorrência de corrosão e, também, da proteção catódica necessária para sua neutralização.

Assim, para considerar a possibilidade da existência de corrosão nas armaduras do concreto, além de sua extensão utiliza-se, em todo o mundo, o equipamento semi-pilha, composto por um eletrodo de referência, normalmente de cobre-sulfato de cobre, ligado a um multímetro de alta impedância. Ao interligar este sistema, simultaneamente à armadura e a superfície do concreto (utilizando-se uma esponja saturada no contato), surge um fluxo de elétrons, da à armadura em direção ao eletrodo de referência, que tem potencial mais nobre e positivo. O multímetro indicará a intensidade da diferença de potencial, entre as duas semi-pilhas (eletrodo de cobre e o aço da armadura). A norma americana ASTM C-876, estabelece critérios para avaliação da corrosão no concreto armado, indicando que quando gradientes de potenciais apresentam valores mais negativos (menores que -350mV) há grande probabilidade de corrosão na região analisada.

Os gradientes de potenciais encontrados, normalmente indicam a direção das correntes de corrosão existentes que, por sua vez, estabelecem as áreas comprometidas por onde abandonam as armaduras e adentram no concreto, exatamente onde potenciais apresentam-se mais negativos. A interpretação das leituras obtidas, deverá levar em consideração a peça estrutural como um todo, identificando-se as áreas negativas, circundadas por áreas mais positivas. Dever-se-á considerar que a maioria das estruturas de concreto armado, compostas por vigas, pilares e lajes, apresentam pelo menos 2 camadas de armaduras logo, torna-se necessário obter o mapeamento dos potenciais de corrosão por todos os lados disponíveis, de modo a se interpretar corretamente o estado das peças. A partir do lado em que se está investigando os potenciais, a existência de camadas de armaduras mais distantes, praticamente não influi nos valores obtidos, a não ser que existam mudanças significativas na resistividade elétrica do concreto, o que é comum junto à bases de pilares. A região das juntas de dilatação, de tabuleiros de pontes e viadutos, sobre vigas travessas, por exemplo, é um caso de impossível acesso.



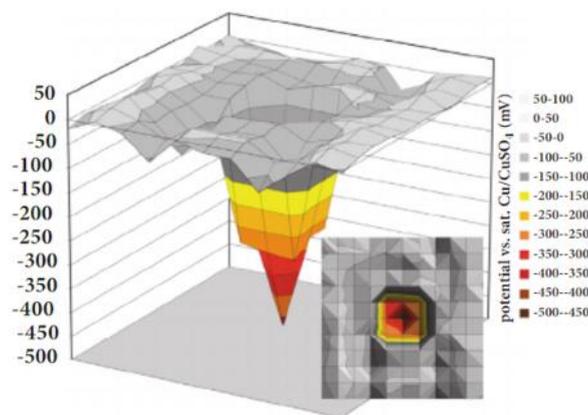
**Figura 7: Semi-pilha portátil no levantamento do estado de corrosão no concreto armado.**



**Figura 8: Princípio do mapeamento do potencial, apresentando-se afunilamento típico.**

Para casos como estes, dever-se-á obter mapas de corrosão em torno daquela área, de modo a conferir se correntes de corrosão estão partindo de lá. Caso se confirme, dever-se-á concentrar um maior número de outras análises, como resistividade, PH, contaminação do concreto, etc. É possível definir, a partir dos gradientes dos potenciais encontrados e da resistividade, naturalmente considerando-se o recobrimento existente e as dimensões da peça, a taxa de corrosão expressa em microampére por centímetro quadrado. Com o mapeamento da resistividade, obter-se-á medidas da condutividade do concreto e, juntamente com o mapeamento da camada de recobrimento com o detector de armaduras, ter-se-á importantes parâmetros para obter a taxa de redução da seção de aço das armaduras. Contudo, torna-se necessário conhecer um pouco do concreto, isto é, a quantidade de hidróxido de cálcio presente, já que o concreto possui alta alcalinidade graças, principalmente, à presença do  $\text{Ca(OH)}_2$ , liberado das reações de hidratação do

cimento. É interessante observar que, à medida em que o concreto desprotegido fica submetido à ação das águas, de produtos químicos, ou da introdução do CO<sub>2</sub>, da atmosfera, ocorrerá lixiviação neutralizando esta alcalinidade. Portanto, quanto maior a quantidade de hidróxidos próximo à superfície, que pode ser conduzido às regiões de corrosão nas armaduras, mais devagar a corrosão irá se espalhar, em termos de área.



**Figura 9: Representação 3D do afunilamento do potencial.**

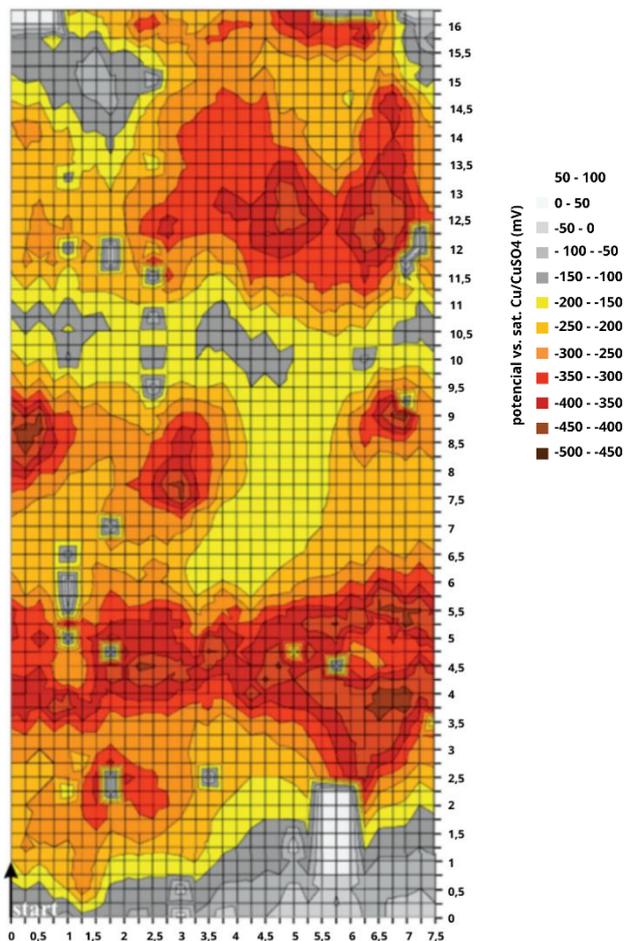
Como regra geral poderemos ter duas situações:

- Em um concreto genericamente com pH entre 12 e 14, circundado por um ambiente tipicamente úmido como o nosso, o mecanismo inicial de corrosão, mais provável, será por pites (corrosão localizada).
- Em concretos que estejam com suas superfícies desprotegidas, em contato com líquidos agressivos ou mesmo sujeitos à ação da maresia e da chuva, a corrosão irá se desenvolver rapidamente e de forma uniforme.

A corrosão por pites, desenvolve-se sem qualquer indício visual à superfície do concreto, o que é ruim, estruturalmente falando, porque provoca a diminuição ou o seccionamento da seção das barras da armadura. Em concretos aparentes, sem qualquer revestimento protetor, como em algumas indústrias químicas, em estações de tratamento de água e esgotos e as expostas à ação corrosiva da maresia, particularmente com juntas frias ou de construção, para não citar as juntas de dilatação de nossas pontes e viadutos, que sempre apresentam vazamentos, costuma haver presença de corrosão mais acentuada e uniforme, induzindo a um possível início de ruína estrutural. De um modo geral, poderemos ter um início de processo de corrosão por pites e, à medida que a alcalinidade do concreto, nesta área, é neutralizada pelos ácidos gerados, durante esta ação ou evolução, tornando-se carbonatado, ocorrerá a uniformização da corrosão com o conseqüente deslocamentos da camada de recobrimento. Nesta fase, poder-se-á ter a redução de seção das barras, em cerca de um décimo de milímetro, para espessuras da camada de recobrimento, em torno de duas vezes o diâmetro das armaduras. A variedade dos mecanismos de corrosão, listados acima, indica que a taxa de corrosão não é, por si só, suficiente para julgar o tipo de corrosão que esteja ocorrendo em uma estrutura. Desde já, torna-se evidente que não é possível, apenas com os potenciais, fazer uma avaliação 100% precisa do estado de corrosão. A norma ASTM C 876-2009 fornece a condição padrão para a análise dos dados obtidos, com o eletrodo CSC:

- **Boa** – armaduras totalmente protegidas (ausência de corrosão). Potenciais mais positivos do que  $-200$  mV, com a semi-pilha de ESC, dão probabilidade maior do que 90% de que não há corrosão.
- **Corrosão iniciada** – Há indícios de corrosão e danos inaceitáveis poderão ocorrer a curto ou médio prazo. Potenciais variando de  $-200$  a  $-350$  mV com ESC. A atividade de corrosão é incerta.
- **Inaceitável** – Grande parte da armadura apresenta corrosão ativa. Se os potenciais forem mais negativos do que  $-350$  mV, com ESC, existirão chances maiores do que 90% de que há corrosão.

A representação gráfica, do resultado do levantamento dos potenciais, deve ser realizada com parâmetros limitantes adequados, permitindo a total visualização da probabilidade de corrosão, na estrutura em questão. A figura abaixo, mostra a representação colorida, com zoneamento de 50mV, em cada cor existente. Assim, o vermelho escuro e o laranja escuro, indicam áreas com alta probabilidade de corrosão (potenciais entre  $-300$  e  $-500$  mV, com o eletrodo CSC). Poder-se-á atribuir parâmetros estatísticos como frequência, etc, para os valores dos potenciais encontrados, de modo a conhecer melhor a condição da estrutura. Variações de umidade, presentes na estrutura, alteram a condição dos potenciais em mais de 100mV, mascarando a análise estatística. Após a avaliação gráfica, torna-se obrigatório a abertura de “janelas” de inspeção, na superfície do concreto, nas áreas mais críticas, com potenciais mais negativos, de modo a certificar os valores encontrados. Em áreas onde houver trincas e fissuras, além de potenciais duvidosos, também sugere-se abrir “janelas” de inspeção. A representação gráfica exige equipamento específico e bastante prática.



**Figura 10: Representação gráfica dos potenciais de corrosão obtidos em uma laje teto de uma indústria.**

- **PROFUNDIDADE DA CARBONATAÇÃO**

A profundidade da carbonatação ou frente de carbonatação, é um dos ensaios mais simples para verificação do fenômeno, que pode favorecer a corrosão. Tradicionalmente, são utilizados indicadores, a base de fenolftaleína ou timolftaleína, que indicam mudança de pH da estrutura. A solução de fenolftaleína, geralmente é composta por 49% de álcool, 50% de água e 1% de fenolftaleína. Já a solução de timolftaleína, é composta por 99% de álcool e 1% de timolftaleína. A fenolftaleína apresenta coloração róseo-avermelhada, em valores de pH maiores ou iguais a 9,5, e incolor abaixo deste valor. Já a timolftaleína, apresenta coloração azulada, em valores de pH maiores ou iguais a 10,5, e incolor abaixo deste valor.

Nas fotografias, a seguir, é possível verificar a ação dos indicadores para a frente de carbonatação.



*Figura 11: Corpos de prova com uso de fenolftaleína.*



*Figura 12: Uso da timolftaleína*

Para realização correta deste ensaio, deve-se fraturar a região desejada e imediatamente aplicar a solução do indicador, pois superfícies expostas carbonatam-se rapidamente, alterando e comprometendo o objeto de estudo. O objetivo principal deste ensaio é determinar se a profundidade de carbonatação chegou ou não até a armadura. Caso chegue, significa que contribuiu para a sua despassivação. Caso contrário, é possível estimar a vida útil residual desta estrutura. Como o indicador varia sua coloração com o pH 9,5, e a armadura despassiva-se para valores de pH inferiores a 11,0, há casos em que a frente de carbonatação nem chegou à armadura, mas já sofre com o ataque, que pode ser agressivo. Portanto, deve-se ter cuidado ao analisar todos os dados disponíveis.

- **CLORETOS**

Íons cloretos, podem ser encontrados em estruturas de concreto na forma de cloretos livres e combinados. A soma dos cloretos livres e combinados, é denominada cloretos totais ou teor de cloretos. A forma perigosa para a corrosão, são os cloretos livres. No entanto, é interessante determinar os cloretos totais, pois cloretos combinados podem ficar disponíveis para relações deletérias, devido a fenômenos como a carbonatação. O teor de cloretos totais, também é o parâmetro para avaliação do grau de contaminação do concreto

pois, praticamente, todas as normas o estabelecem como parâmetro. O método mais conveniente para medir o teor de cloretos, seria a montagem do perfil de cloretos, onde são retiradas amostras do concreto, em diferentes profundidades, pelo menos 3, até chegar ao seu interior. Com este perfil, é possível verificar qual o teor de cloretos, ao nível da armadura, se já foi iniciado o processo de corrosão, ou se ainda há tempo de realização de medidas protetoras. Amostras, para determinação do perfil de cloretos, são em pó, que podem ser obtidas por meio de furos no concreto, a profundidades específicas, ou extração de testemunhos, também com profundidades desejadas. Neste processo, é importante que não sejam utilizados nenhum tipo de fluidos, pois interferem e removem cloretos destas amostras. Na tabela abaixo, podem ser encontrados alguns métodos empregados para analisar o teor de cloretos, presentes nas amostras. As normas ASTM C1218 (ASTM, 2008) e C 1158 (ASTM, 2012) e as recomendações RILEM TC 178 (RILEM, 2002a, 2002b), apresentam procedimentos para a determinação de cloretos livres e totais.

<b>Método</b>	<b>Funcionamento</b>
Métodos volumétricos (Mohr, Volland)	A quantidade de cloretos é obtida a partir do volume gasto de reagente até o ponto de viragem do indicador.
Potenciometria direta – eletrodo íon seletivo	A quantidade de cloretos é obtida a partir de uma relação direta entre o potencial do eletrodo íon seletivo e a concentração de cloretos.
Titulação potenciométrica	A quantidade de cloretos é obtida a partir do ponto de equivalência em uma curva que relaciona potencial e volume de reagente.
Fluorescência de raios X	A quantidade de cloretos é obtida a partir da emissão de raios X secundários ou fluorescentes característicos do material analisado. Não necessita de extração prévia.
Cromatografia iônica	Separa íons com base na interação com uma resina.

**Tabela 1: Métodos de análise para determinação da concentração dos íons cloretos.**

Ainda não existe um consenso, quanto ao limite de cloretos, no qual seja possível afirmar que não haverá despassivação das armaduras, pois depende de outros fatores, como o tipo de cimento e sua finura, relação água-cimento, condições ambientais, dentro outros. Como limite geral, considera-se que são suficientes 0,4% de cloretos totais, em relação a massa de cimento ou 0,05 a 0,1%, em relação ao peso do concreto para despassivar o aço. A norma brasileira NBR 12655, determina os teores máximos de íons cloretos, no concreto endurecido, considerando a contribuição de todos os componentes do concreto, em função da classe de agressividade do ambiente, em que a estrutura se encontra, conforme tabela a seguir.

<b>Classe de agressividade (5.2.2)</b>	<b>Condições de serviço da estrutura</b>	<b>Teor máximo de íons cloreto (Cl-) no concreto</b> % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15

II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

*Tabela 2: Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto.*

- **UMIDADE DE EQUILÍBRIO**

A umidade, nos poros do concreto, é uma variável que controla a entrada do oxigênio e do gás carbônico até a armadura, e também a resistividade do concreto. Pode-se dizer que, indiretamente, é a variável que controla a velocidade da corrosão. Quando os poros estão saturados d'água, o oxigênio tem dificuldade em penetrar no concreto e a resistividade apresenta-se baixa. Quando os poros estão secos, o oxigênio chega com facilidade até a armadura e a resistividade encontra-se alta. Nestas duas situações, a velocidade de corrosão é muito baixa. No entanto, quando os poros estão parcialmente saturados, a resistividade é baixa e o oxigênio pode chegar com facilidade à armadura, aumentando a velocidade de corrosão. Para a determinação da umidade de equilíbrio no concreto, basta calcular a diferença de massas, entre a amostra submetida à umidade e a massa desta mesma amostra, após passar, pelo menos, 24 horas em estufa a 105°C. Ainda não há limites determinados para a umidade de equilíbrio, porém é possível afirmar, com 95% de precisão, que existe influência da umidade sobre o potencial de corrosão. Maior umidade resulta em valores de potencial de corrosão mais eletronegativos, devido ao aumento da condutividade elétrica.

- **SAIS SOLÚVEIS**

Apesar de outros sais não serem tão agressivos às armaduras, quanto os cloretos, também podem atuar como íons despassivantes, pois a presença de sulfatos, por exemplo, pode causar reações deletérias e formação de fissuras, acarretando aumento da permeabilidade e menor proteção à armadura. Desta forma, pode ser conveniente determinar sua presença, para avaliar a qualidade do concreto de cobertura. O método descrito na norma NBR NM 19, pode ser utilizado para determinação de sulfatos no concreto.

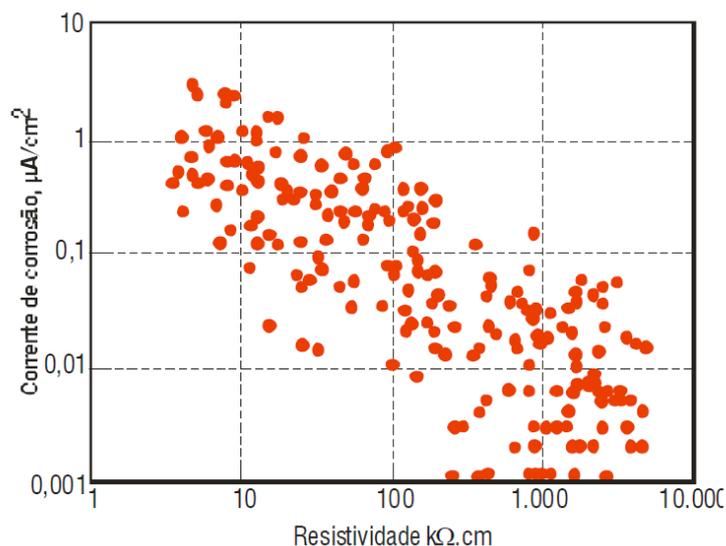
- **RESISTIVIDADE DO CONCRETO**

A resistividade iônica dentro do concreto, é um parâmetro que depende do teor de umidade, da permeabilidade e do grau de ionização do eletrólito presente, existindo proporcionalidade direta entre a taxa de corrosão e a condutividade iônica existente. A resistividade ou, seu inverso, a condutividade, é um dos principais fatores controladores da função eletroquímica que norteia processos de corrosão no concreto armado. As velocidades de corrosão máximas, ocorrem em concretos com altos teores de umidade, os quais apresentam baixa resistividade, porém sem alcançar a saturação dos poros, de modo a não dificultar o acesso do oxigênio. Evidentemente, não se deve utilizar argamassas ou concretos que contenham polímeros, para aumentar a aderência e diminuir a retração da massa cimentícia pois, por outro lado, dificultam ou impedem o fluxo iônico necessário ao tratamento com proteção catódica. A tabela abaixo, mostra a relação entre resistividade e a probabilidade de corrosão, de acordo com comitê euro-internacional do Beton-CEB.

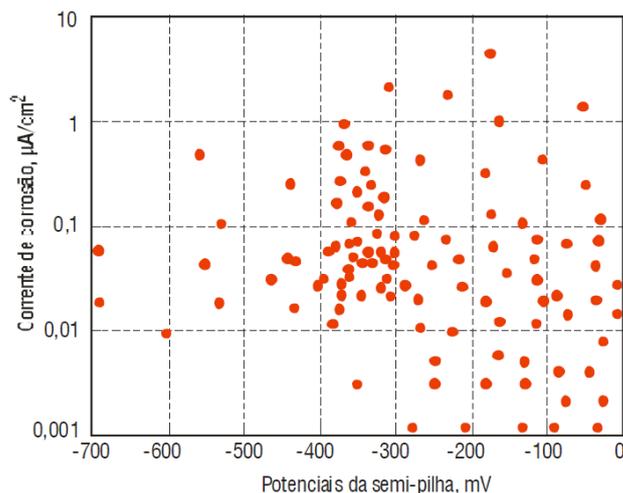
Resistividade do concreto K ohm.cm ( $\rho$ )	Indicação de probabilidade de corrosão
> 20	Desprezível
10 a 20	Baixa
5 a 10	Alta
< 5	Muito alta

**Tabela 3: Relação entre a resistividade e a probabilidade de corrosão.**  
Comitê euro-international du beton - CEB

Considerando a existência de umidade dentro do concreto teremos, como consequência, a redução da resistividade e a massa cimentícia funcionando como eletrólito, na ligação entre anodos e catodos ao longo das armaduras. Por outro lado, em dias ensolarados, com a secagem do concreto e a redução da umidade do ambiente, o aumento da resistividade elétrica do concreto será favorecido, à ponto de diminuir o fluxo da corrente de corrosão existente nas armaduras. Como explicado anteriormente, a corrosão no aço do concreto é um processo eletroquímico, que gera fluxo de corrente para dissolver suas regiões anódicas. Quanto menor a resistência iônica do concreto, mais rapidamente a corrente fluirá e maiores serão as chances de corrosão.



**Figura 13: Comparação entre corrente de corrosão e resistividade do concreto.**



**Figura 14: Comparação entre a corrente de corrosão e os potenciais de corrosão obtidos com a semi-pilha.**

A primeira figura mostra a relação entre a velocidade de corrosão no concreto e sua resistividade. Analisando-se o diagrama de Pourbaix na página 23, fica evidente que, quando o aço perde sua passividade, a resistividade do concreto versus sua velocidade da corrosão, informa-nos da existência de processos de corrosão com potenciais específicos.

### 3) RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL CONVENCIONAL

A necessidade de recuperar ou reforçar estruturas, restabelecendo sua segurança e aumentando sua durabilidade, tem se tornado cada vez mais comum, por muitas razões, como pela sua esbelteza, por solicitações mais intensas, por ambientes mais agressivos, mudanças de uso da construção, dentre outros. Para uma recuperação estrutural eficiente, é necessário que, anteriormente, tenham sido feitos estudos necessários para se identificar sintomas, o mecanismo, origem, causas e consequências da manifestação patológica apresentada, de modo que haja um diagnóstico correto. De posse deste diagnóstico, é possível identificar qual a melhor técnica a ser empregada na recuperação. Há casos em que o dano é tão profundo, que torna-se necessário reforçar a estrutura. É imprescindível, também, que sejam conhecidos os materiais utilizados e os métodos de recuperação, para que a melhor decisão, tanto técnica quanto econômica, seja tomada. Já é possível perceber que as causas da corrosão nas armaduras, indiretamente, podem ser diversas, e uma simples fissuração do concreto, pode abrir espaço para o começo do processo de corrosão. Desta forma, cada manifestação patológica deve ser avaliada em separado, e deve ser tratada de forma diferenciada. Para evitarmos extenso estudo, sobre técnicas de recuperação, referentes a causas secundárias de corrosão nas armaduras, os métodos utilizados para recuperação das armaduras, que sofreram fenômenos da carbonatação e da contaminação por cloretos, deverá ser a proteção catódica, por corrente galvânica. A proteção catódica tem o objetivo de neutralizar a corrosão nas armaduras, por meio da aplicação de corrente protetora, utilizando-se anodos galvânicos.

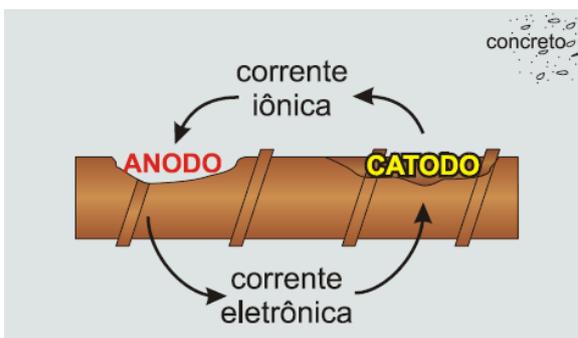
A recuperação convencional realizada tradicionalmente, é um processo simples, porém extremamente prejudicial para a restauração da vida útil das armaduras do concreto armado. Em tese, seus níveis de intervenção, dependem muito da causa e do avanço do processo de deterioração, que a estrutura está sofrendo. Neste caso, para exemplificação do método, consideramos uma estrutura que sofreu, com o processo de corrosão das armaduras, seguindo de deslocamento do concreto, independentemente da causa deste fenômeno. O procedimento usual é o seguinte:

- a) Remoção cuidadosa do concreto afetado e os produtos da corrosão, limpando bem as superfícies, geralmente utilizando técnicas de escarificação manual ou mecânica;
- b) Reconstituição da seção original da armadura, quando for o caso, por meio de reforço, reconstituindo a seção das armaduras, podendo ser realizadas por transpasse, luva ou solda;
- c) Em casos de início de corrosão, sem comprometimento do concreto e das barras de aço, recupera-se o componente estrutural, mantendo as dimensões através de argamassa polimérica, à base de cimento, ou argamassa base epóxi, ou argamassa base poliéster, e eventualmente, aplicando argamassa em todas as superfícies para aumentar o cobrimento e proteger o componente estrutural, atingindo a espessura mínima de cobrimento especificada na NBR 6118;
- d) Em casos avançados da corrosão, reforça-se o componente estrutural, aumentando as dimensões originais através do reforço em vigas, pilares e lajes;
- e) Aplicação de revestimento de proteção, constituídos por barreiras espessas, indicados em situações de elevada abrasão ou impacto, quando o concreto está em contato contínuo com líquidos sob pressão, produtos químicos ou vapores agressivos; ou pinturas de proteção, que podem ser pinturas hidrofugantes, que tornam a superfície do concreto repelente a água sem, contudo, impedir a passagem de gases de vapor de água, ou pinturas impermeabilizantes, que formam uma película semiflexível e contínua, e atua como barreira de baixa permeabilidade a gases, água e vapor d'água;

Estas diretrizes, efetivamente, causam mais deterioração no concreto armado.

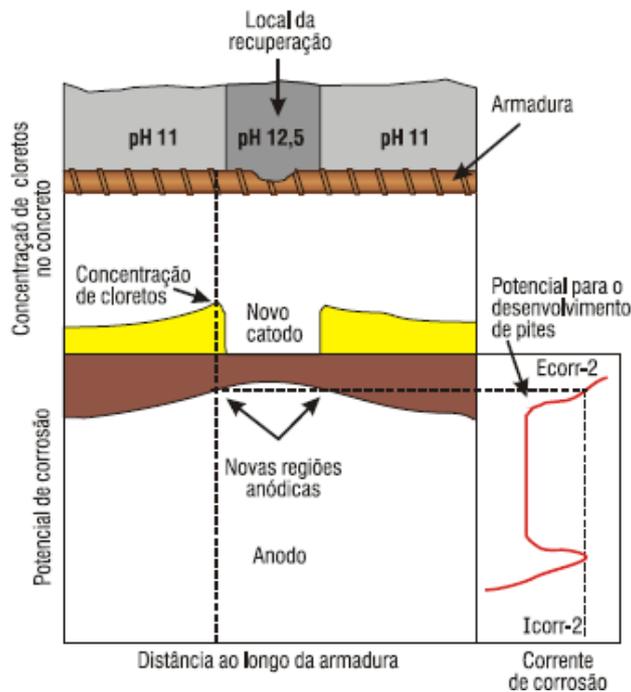
### 3.1. ENTENDA O PROBLEMA

Recuperar estruturas de concreto armado, motivado por corrosão, tornou-se uma atividade constante em nosso dia a dia, particularmente em áreas portuárias e edificações à beira mar. A corrosão, nas armaduras do concreto armado, efetivamente, pode diminuir consideravelmente o tempo de vida das estruturas, particularmente quando não se trata o problema de forma adequada, ou seja, quando se executa serviços de recuperação estrutural, de forma inconsequente, utilizando-se “argamassas e grouts específicos para tal”. Exatamente, o procedimento mais comum de recuperação estrutural, motivado pela corrosão das armaduras, envolve o corte do concreto comprometido, substituindo-o por “argamassas ou grouts, específicos para combate a corrosão”. É fato que, efetivamente, substitui-se o concreto comprometido por material semelhante ou melhor, satisfazendo-se o “requisito de manutenção”. No entanto, se colocarmos uma lupa na nova situação, veremos que tais requisitos são, na verdade, deletérios ou extremamente danosos à estrutura, já que ocorrem diferenças no PH da estrutura, na porosidade, níveis de contaminação diferenciados, além de outros fatores que, de fato, resultam ou desencadeiam, imediatamente, atividades de corrosão nas armaduras vizinhas à recuperação, através de novos anodos adjacentes, também chamados de anodos de anel. Trata-se de um fenômeno, ainda hoje negligenciado, por engenheiros

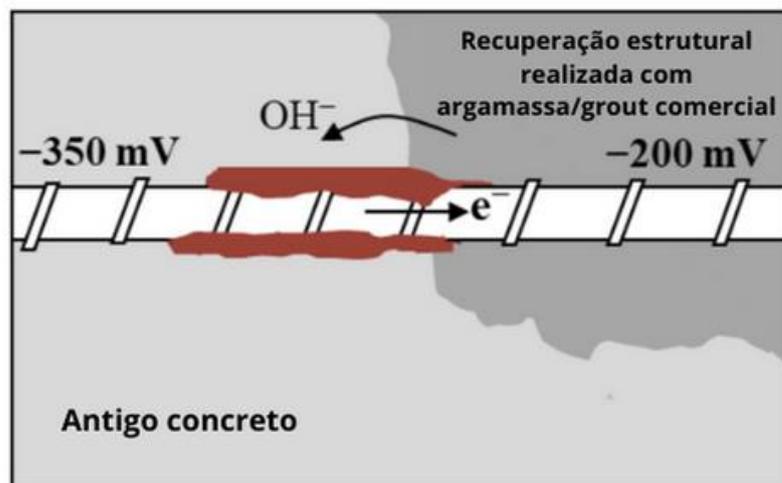


**Figura 15: Esquema de pilha de corrosão, presente em um trecho da armadura. A causa é eletroquímica. A solução é, também eletroquímica.**

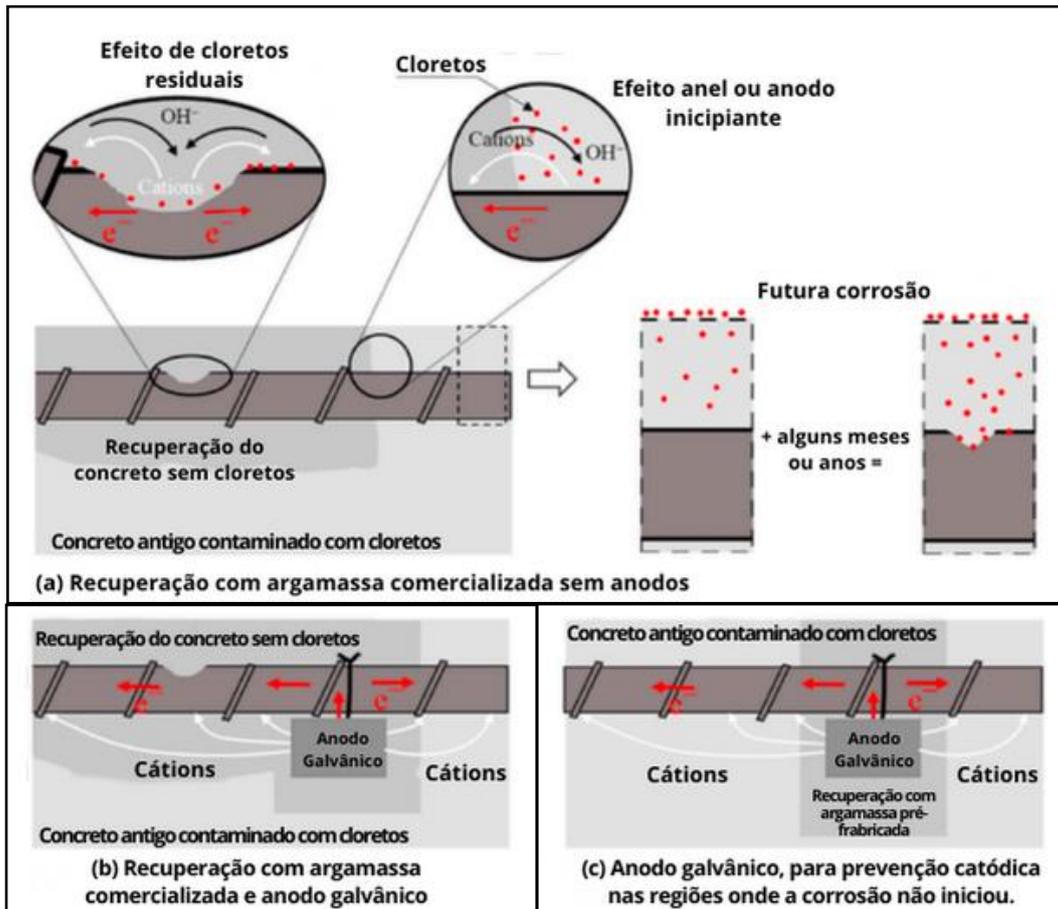
estruturais e patologistas, além de técnicos de estruturas, que causando falha prematura naquela região de recuperação, precipitando falhas ou desencadeando aumento da atividade da corrosão, motivado pela incompatibilidade (diferença de potencial) eletroquímica, entre as armaduras, agora pertencentes à região recuperada”, e as situadas adjacentes, no concreto circundante. Na figura, a seguir, evidencia-se a eficiência dos trabalhos tradicionais de recuperação, por meio de argamassas pré-fabricadas. Nas regiões vizinhas, ao local recuperado, ocorrem picos de concentração de íons cloretos (em amarelo), transformando-os em novas áreas potenciais ao desenvolvimento de pites, pois tornam-se anódicas comparadas à região tratada, dando início a uma nova pilha corrosiva.



**Figura 16: Novas regiões anódicas pós “recuperação” localizada convencional.**



**Figura 17: Recuperação estrutural convencional, com argamassa ou grout comercial, que promove corrosão nas áreas vizinhas, devido ao efeito anel ou anodo incipiente. Após o corte e a remoção do concreto comprometido, e preparação subsequente da armadura, aplica-se a “argamassa ou grout comercial próprio para impedir a corrosão”. A armadura, anteriormente com corrosão ativa (-350mV), torna-se passiva, alterando-se o potencial (de proteção) para -200mV, o que interrompe a corrosão. No entanto, nas regiões adjacentes à “recuperação”, que anteriormente encontrava-se sem corrosão ativa, passam a apresentar potenciais de corrosão, da ordem de -350Mv.**



**Figura 18: Esquema de recuperação estrutural, motivada por corrosão, utilizando-se argamassas comercializadas.**

- a) Utilizando-se argamassas comercializadas, sem anodo galvânico.
- b) Utilizando-se argamassas comercializadas, com anodo galvânico.
- c) Anodos galvânicos para prevenção catódica em locais onde a corrosão não iniciou.

\*Para pesquisas, consulte:

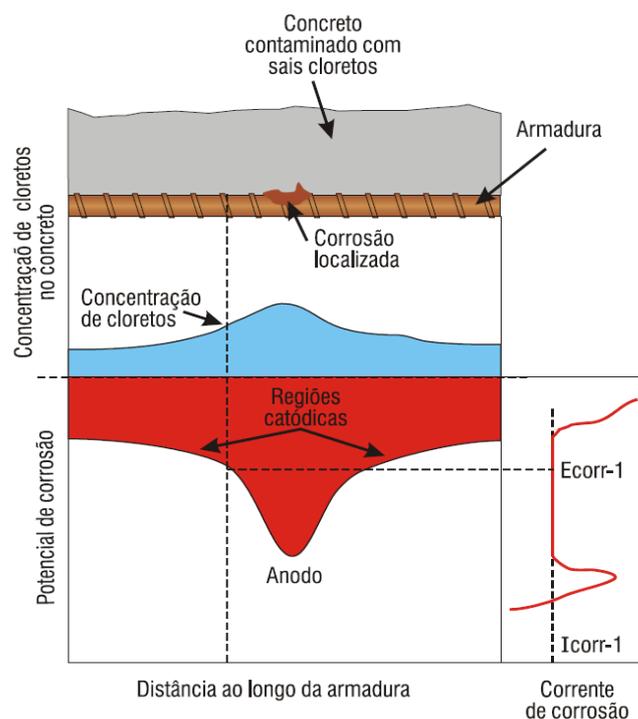
- Chess e Broomfield 2013
- Costa 2010
- Dugarte e Saguès 2014
- Sergi e Página 2000
- Whitmore e Abbott 2003

As reações de redução no catodo, têm importantíssimo papel no desenvolvimento da corrosão no concreto armado, porque são decisivamente influenciadas pela solução que chega à interface aço-concreto (por exemplo a água acompanhada de oxigênio, dióxido de carbono e etc.), e que servem para alimentar a corrosão nos anodos, estabelecendo a natureza dos produtos da corrosão, como os hidróxidos férricos. A figura abaixo, mostra um pilar de seção circular, contaminado com íons cloretos, devido ao ambiente marinho, fator acelerador da corrosão e a crescente taxa de corrosão característica deste meio.



**Figura 19: Pilar de seção circular, corroído pela influência do íons cloretos e a crescente taxa de corrosão.**

A diferença de potencial, que acontece entre reações anódicas e catódicas, é a força motriz que faz o aço desintegrar-se. Portanto, qualquer superfície de aço, que tenha problemas de corrosão, na verdade, é uma combinação de anodos e catodos, eletricamente ligados, através da própria barra do aço e submetidos a um eletrólito interfacial. As características do concreto, fazem com que o fenômeno da corrosão, nas armaduras, seja predominantemente um processo catódico, em torno de suas reações de redução, e não em torno das reações de dissolução dos anodos.



**Figura 20: Processos triviais de corrosão no concreto armado, contaminados por sais cloretos, estabelecem casos típicos de corrosão localizada.**

#### 4) RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL COM PROTEÇÃO CATÓDICA (PC) GALVÂNICA

A única forma efetiva, de neutralizar processos de corrosão no concreto armado, é fixando-se suas armaduras, para corroer. Este processo é chamado de proteção catódica. A ligação de um metal mais anódico que o aço, gera corrente elétrica galvânica, que neutraliza a corrosão existente nas armaduras.

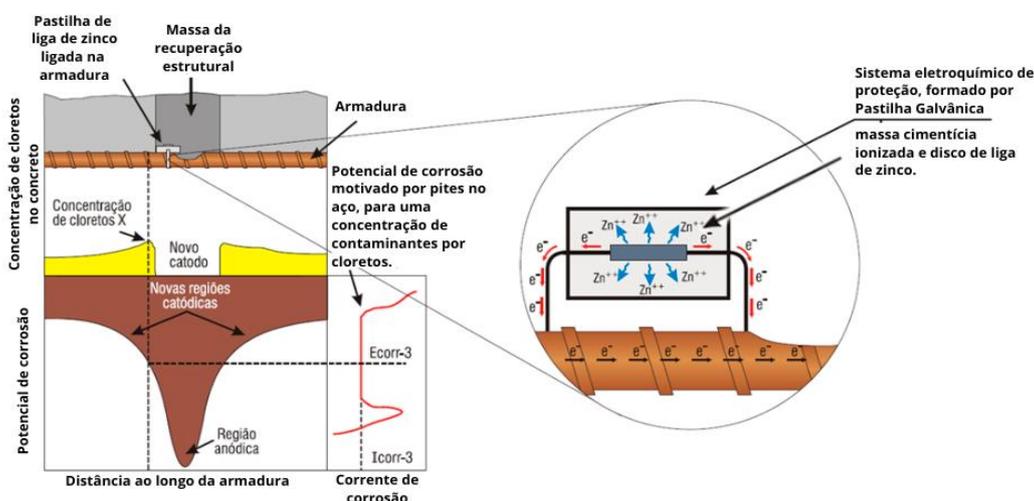
Trata-se da forma correta de recuperar estruturas, motivado por corrosão nas armaduras, considerando-se que atua diretamente na causa do problema, o processo eletroquímico. Proteção catódica (PC), é uma técnica eletroquímica, semelhante a corrosão eletroquímica nas armaduras do concreto armado, utilizado para neutralizar, prevenir e controla-la, através do fornecimento, pelo anodo galvânico, de corrente elétrica de proteção à região do concreto recuperado (agora catodo) e circunvizinhança. A corrente elétrica, fornecida pelo anodo galvânico, é obtida pela diferença de potencial natural entre o metal do anodo galvânico (anodo) e o aço das armaduras do concreto (catodo). Os metais utilizados, nos anodos galvânicos, são a liga de zinco (material patenteado) e o zinco puro (material patenteado). Com relação aos anodos galvânicos com zinco puro, passivam-se naturalmente no ambiente alcalino do concreto, para PHs entre 8 e 12,5, devido a formação de película de corrosão superficial, relativamente insolúvel, tornando-se um problema. Já os anodos de liga de zinco, da linha G, mais modernos, não ocorre este problema. Tradicionalmente, a proteção catódica é direcionada a estruturas metálicas, submersas ou enterradas, especialmente no que tange a proteção de cascos de navios e tubulações enterradas. Entretanto, a cerca de 20 anos, a construção civil também vem sendo beneficiada por esta técnica, com a utilização de corrente galvânica. Além dos casos de estruturas, em casos de degradação, a proteção catódica, com corrente galvânica, também é utilizada como preventivo para estruturas novas. Dentre todas as condições, as quais estão expostas estruturas de concreto armado, a proteção catódica é, majoritariamente, aplicada em estruturas propensas à ação de contaminantes, comumente localizadas em ambientes industriais e marinhos. No Brasil, infelizmente, ainda não é comum o uso da técnica de proteção catódica, em estruturas de concreto armado, expostas em ambientes de alta agressividade. Normalmente, o que é realizado é a adoção de critérios rígidos de projeto, como elevada espessura de revestimento e especificação de alta qualidade para o grout ou concreto que efetivamente, não atacam a causa do problema, e sim apenas os efeitos. A tabela 4, apresenta um quadro dos serviços tradicionais de recuperação estrutural, em decorrência da corrosão das armaduras do concreto. É possível comparar as técnicas, e entre prós e contras, designar a melhor, conforme o caso. Entre os destaques, é notável a alta durabilidade das técnicas relacionadas à proteção catódica, em detrimento das demais.

1. Recuperação estrutural convencional	2. Utilização de proteção por barreiras (normalmente revestimentos epóxicos)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não interrompe corrosão;</li> <li>- Acarreta barulho, entulho e paralizações;</li> <li>- Usualmente, requer novos serviços após 3 a 5 anos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revestimentos não interrompem a corrosão, apenas impedem a penetração de agentes contaminantes e água;</li> </ul>
3. Inibidores de corrosão (migração)	4. Proteção catódica com Jaqueta G (revista RECUPERAR nº 25)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não oferecem qualquer garantia;</li> <li>- Não há como comprovar que o material aplicado adentra no concreto em direção à armadura, interrompendo a corrosão;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usada em estacas marítimas, na zona de variação da maré;</li> <li>- Durabilidade superior a 20 anos;</li> <li>- Aplicação rápida comprimento em cerca de 2m;</li> </ul>

<p>5. Proteção catódica com Pastilha Galvânica (revista RECUPERAR nº33)</p>	<p>6. Proteção catódica com Tela G</p>
<p>- Durabilidade em torno de 15 anos; - Aplicada em estruturas de edificações, tipicamente com densidade de armaduras de 80kg/m<sup>3</sup> de concreto;</p>	<p>- Durabilidade de 15 anos aplicada em estruturas como obras de arte, estruturas industriais, etc, tipicamente com densidade de armaduras superiores a 100kg/m<sup>3</sup> de concreto.</p>

**Tabela 4: Quadro comparativo entre serviços de recuperação estrutural para corrosão.**

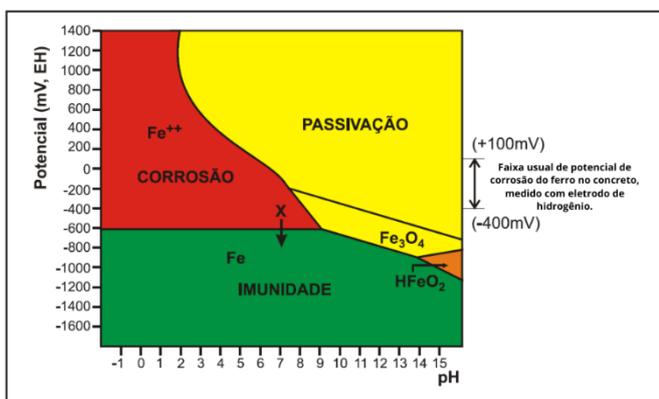
O fato é que, na prática, as técnicas e os critérios tradicionais, utilizados para a proteção das armaduras, nem sempre atentam a garantia e à durabilidade da estrutura, especialmente para ambientes agressivos. Portanto, a proteção catódica, por corrente galvânica é a tecnologia indicada para os serviços de recuperação estrutural, motivados por corrosão nas armaduras do concreto. É importante conhecer o conceito da proteção catódica, por corrente galvânica, utilizando-se anodos específicos, conforme o exemplo a seguir, onde, nas regiões recuperadas ou com pilhas de proteção galvânica, supera-se as correntes de corrosão, perniciosas ao aço, impondo-se correntes protetoras em toda a área comprometida. As correntes galvânicas de proteção, uma vez atuando em toda a área especificada, impedirão o funcionamento de regiões anódicas e, portanto, neutralizam a corrosão.



**Figura 21: Seção de uma estrutura de concreto armado recuperada com a utilização de proteção catódica com pastilha galvânica com liga de zinco.**

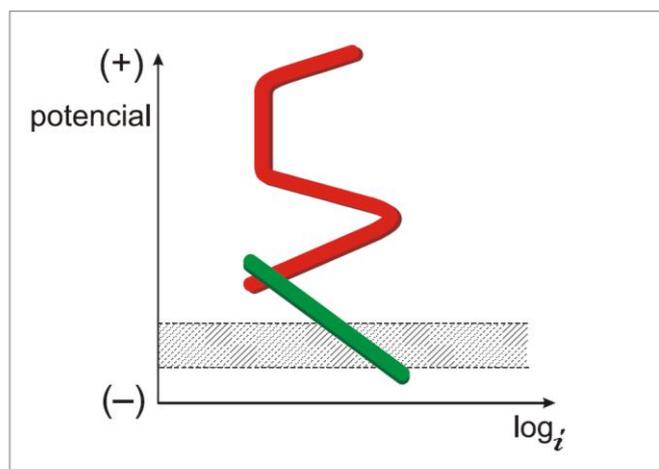
O conceito de proteção catódica, está intimamente relacionado ao diagrama potencial – pH de Pourbaix, e as curvas de polarização eletroquímica, particularmente quando há presença de soluções químicas estranhas, presentes na massa do concreto, tornando-o um eletrólito em potencial.

**Figura 22: Diagrama de Pourbaix, do equilíbrio termodinâmico simplificado. Potencial x pH, para o sistema Fe-H<sub>2</sub>O a 25°C, delimitando os domínios da corrosão, passivação e imunidade.**



Pourbaix demonstrou, com um diagrama potencial versus pH, para o sistema ferro água a 25°C, considerando o pH do concreto, aproximadamente 12,5, e para uma faixa usual de potenciais de corrosão, da ordem de +100mV a -400mV, em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio, presentes usualmente em estruturas de concreto armado, as reações verificadas no ferro são de passivação, conforme figura acima. O que ocorre, então, é que a armadura presente no interior do concreto, em meio alcalino, fica conservada do fenômeno corrosão devido, originalmente, a presença da película de óxidos protetores, de caráter passivo, que envolve a armadura. Por outro lado, sob determinadas condições, o aço envolvido pelo eletrólito, no interior do concreto contaminado, poderá ter uma combinação de potencial e pH na região de corrosão, como indicado pelo X no diagrama. Nesta região, os produtos solúveis da corrosão, são espécies estáveis e a corrosão é inevitável. O conceito de proteção catódica, torna possível a mudança do potencial, da região de corrosão para valores mais negativos, dentro da região de imunidade. Desta forma, impede-se a corrosão.

Da mesma forma, através de uma curva de polarização, evidencia-se que o aço comprometido, encontra-se com potencial na região de corrosão. A aplicação de proteção catódica, muda o potencial para valores mais negativos, exatamente para uma região hachurada, abaixo das curvas apresentadas na figura a seguir, onde a corrente, na interceptação com a área hachurada, indica a magnitude da corrente de proteção catódica, necessária para manter o aço no potencial de proteção desejado. A localização da região de imunidade, no diagrama potencial-pH, e nas curvas de polarização, pela forma e magnitude das correntes, são função da combinação aço-concreto, tendo a massa cimentícia penetrada pelo eletrólito.



**Figura 23: Esquema de proteção catódica (PC) relacionada às curvas de polarização eletroquímica.**

Assim, para proteger o aço da corrosão, basta produzir fluxo de elétrons, na direção desejada, por corrente galvânica, ligando a armadura a um metal mais ativo, como a liga de zinco, imersa em um eletrólito presente no concreto. O resultado, é uma pilha galvânica, na qual a liga de zinco trabalha como anodo, promovendo um fluxo de elétrons para a estrutura, que torna-se catódica. Neste caso, a liga de zinco é destruída progressivamente, por isso chamada de anodo de sacrifício, devendo satisfazer a certas exigências, entre elas:

- Bom rendimento teórico da corrente de proteção, em relação à massa a ser consumida;
- A corrente não deve diminuir com o tempo;
- Não é aconselhável que o rendimento prático, da corrente, seja muito inferior ao teórico.

A composição da liga de zinco é importantíssima para o bom desempenho do anodo galvânico, adicionando-se elementos, a fim de que o anodo apresente características desejadas, entre os quais pode-se citar:

- Potencial de proteção suficientemente negativo;
- Alta eficiência do anodo - não deve conter impurezas que originem autocorrosão do anodo ou que o tornem ineficiente;
- Estado ativo, para a corrosão uniforme do anodo, o que evite sua passivação. A adição de mercúrio ou índio, no anodo de liga de zinco elimina tal efeito.

A escolha do anodo galvânico deve ser feita com base nas características da estrutura a ser protegida, conhecendo o eletrólito que estará em contato com o anodo galvânico. Este é um dos motivos pelos quais anodos de zinco puro não devem ser utilizados no ambiente alcalino do concreto, já que passivam-se facilmente neste meio.

#### 4.1. A RELAÇÃO ENTRE ÁREAS CATÓDICAS E ANÓDICAS

A relação entre áreas expostas de materiais tornados anódicos e catódicos, uma vez interligados, é muito importante, uma vez que interessa ao controle da velocidade da conseqüente corrosão galvânica. Quanto maior a área de armadura (catodo), comparado ao anodo galvânico, maior a redução de oxigênio ou outra reação catódica, aumentando a corrente galvânica, com o desenvolvimento de mais corrosão no anodo. Assim, como a corrosão galvânica é, frequentemente, dependente da velocidade de difusão do oxigênio dissolvido no catodo, a quantidade total de corrosão galvânica é independente do tamanho do anodo, mas proporcional a área da superfície catódica da armadura a ser protegida.

Ao aplicar-se proteção catódica, por corrente galvânica, utilizando-se anodos de sacrifício, estamos formando um sistema galvânico, com polarização catódica, ou seja, altera-se o potencial do aço, que está sendo protegido, em direção a valores mais negativos, devido ao fluxo de corrente galvânica introduzido. Assim, a corrente galvânica introduzida, é proporcional a área superficial das armaduras a serem protegidas ou catodizadas. Logo, de acordo com a figura abaixo, e sob condições ideais, como por exemplo um ambiente como concreto úmido, havendo um controle entre as áreas anódicas e catódicas, evitar-se-á os efeitos adversos da relação entre áreas, na proteção catódica por corrente galvânica.

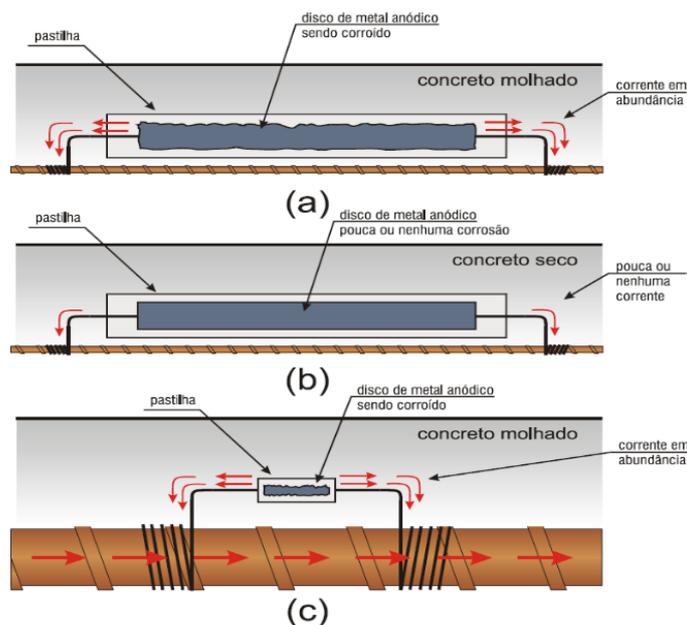


Figura 24:

- a) grande área de anodo, pequena área de catodo (armadura) com alta condutividade eletrolítica.
- b) grande área de anodo, pequena área de catodo (armadura) e baixa condutividade eletrolítica.
- c) pequena área de anodo, grande área de catodo e grande condutividade eletrolítica.

## 4.2. QUANDO UTILIZAR E COMO ESPECIFICAR A PC GALVÂNICA?

Em qualquer obra de recuperação estrutural, motivada por corrosão nas armaduras, dever-se-á utilizar anodos galvânicos, de modo a interrompe-la. Para qualquer situação dever-se-á, primeiro, analisar a diversidade e a qualidade das armaduras afetadas, o tipo de concreto, uma ideia da resistividade, recobrimento, possível contaminação do concreto por cloretos, o que é muito provável em estruturas situadas em regiões costeiras ou a beira mar. Com estas informações, torna-se possível selecionar o modelo de anodo galvânico a ser utilizado na estrutura. Neste particular, poder-se-á utilizar os seguintes tipos de anodos galvânicos com liga de zinco.

### PASTILHA Z

É utilizada em serviços de recuperação estrutural, motivada por corrosão, tipicamente onde a taxa de armaduras ou a relação entre o consumo de aço e o volume de concreto seja de  $80\text{kg}/\text{m}^3$ . Sua distribuição é feita tipicamente em malha quadrada ou próxima, com cerca de 50cm de lado. Dever-se-á proceder o corte do concreto comprometido, seguindo-se uma limpeza na superfície das barras. A pastilha deverá ser amarrada às barras, utilizando-se seus arames de fixação. A seguir, verifique se há condutividade elétrica entre o aço e a pastilha.



*Figura 25: Instalação da Pastilha Z.*

### FIO G

É utilizado em serviços de recuperação estrutural, motivado por corrosão, tipicamente onde a taxa de armaduras ou a relação entre o consumo de aço e o volume de concreto seja  $80\text{kg}/\text{m}^3$ . Sua aplicação é feita ao longo das barras, que não tenham camada de recobrimento satisfatória. Após o corte do concreto comprometido e a limpeza das barras, fixa-se o FIO G ao longo das barras, amarrando-o com arame recozido, a cada 10cm.



*Figura 26: O Fio G é fornecido em rolos.*

### **TELA G**

É a melhor solução para estruturas que contenham grande densidade de armaduras. Para fixação, posiciona-se sobre as armaduras, previamente limpas ou escovadas, amarrando-a a cada 15cm em malha quadrada. É fornecida em malha quadrada com 0,50cm de lado.



*Figura 27: Instalação da Tela G.*

**JAQUETA G**

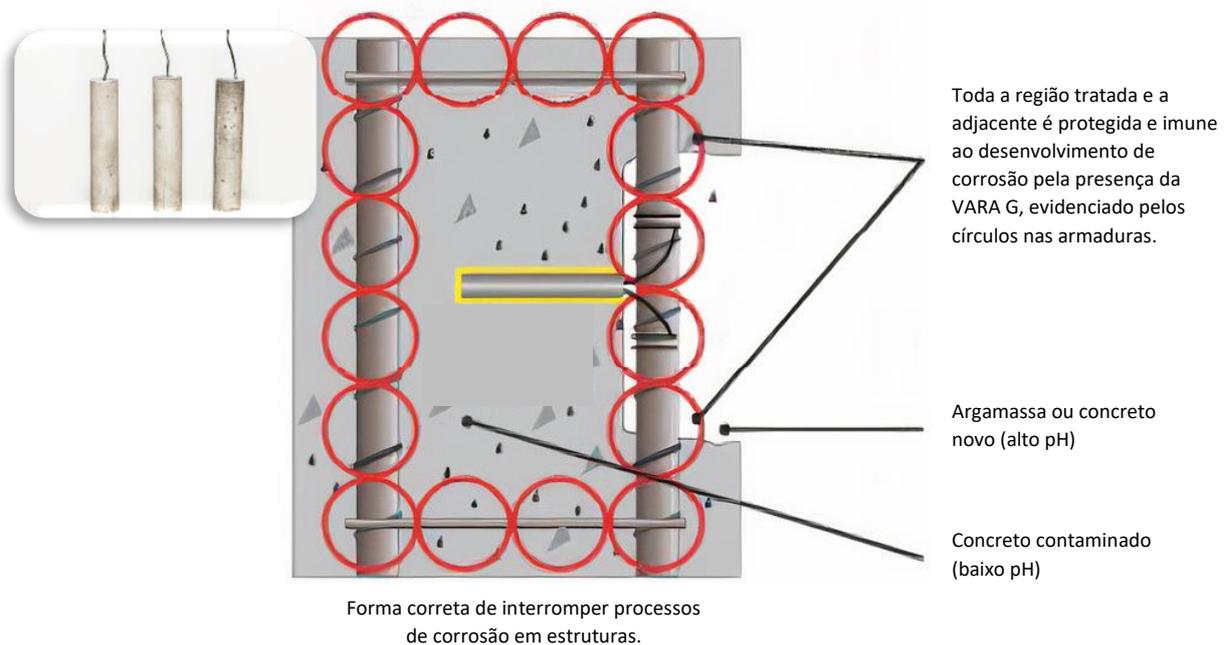
Trata-se de sistema de proteção catódica galvânica, específica para ser utilizado em estacas de pontes marítimas ou fluviais, fixando-o ao corpo das estacas ou tubulões, após as etapas iniciais da recuperação estrutural.



**Figura 28: Jaqueta G.**

**VARA G**

É fornecido em diversos tamanhos, sendo adaptado a todo tipo de estruturas e densidade de armaduras. Trata-se de um cilindro, que é embutido no concreto, para proteger armaduras em locais específicos, mesmo sem serviços de recuperação estrutural, apenas furando o concreto e embutindo o anodo no furo, com utilização de pasta adequada, seguindo-se sua fixação na armadura. Pode ser utilizado como prevenção para a corrosão.



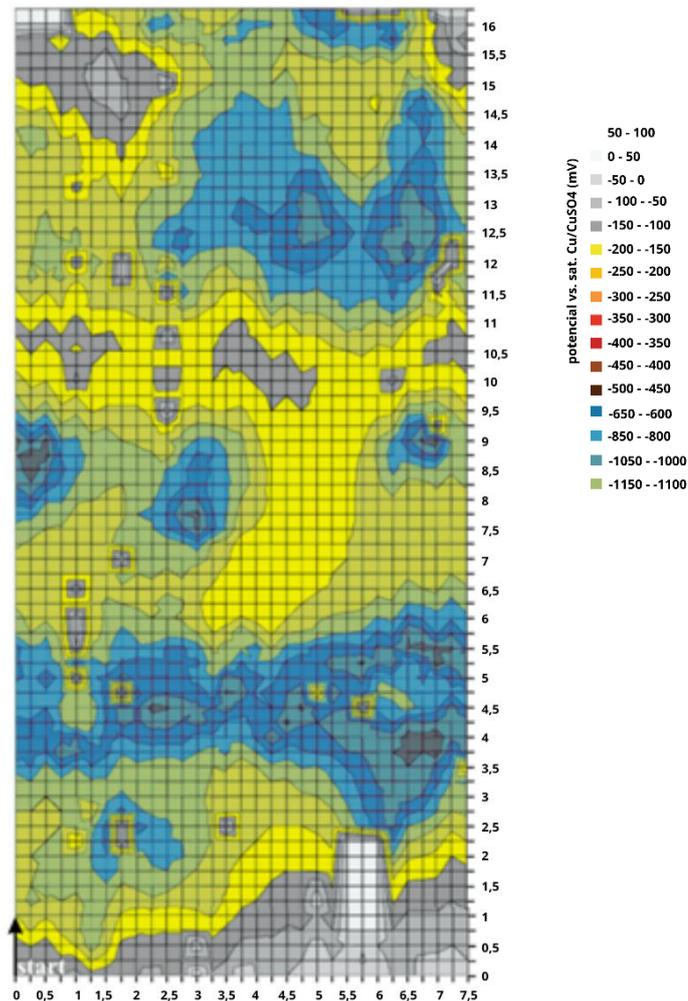
**Figura 29: A Vara G e sua instalação na estrutura, ocupando espaços diminutos.**

### 4.3. COMO CERTIFICAR A PROTEÇÃO CATÓDICA GALVÂNICA?

A checagem dos anodos, instalados na estrutura de concreto armado, é realizada com a medição dos potenciais de corrosão, anteriores à instalação, e dos potenciais de proteção, após. Do ponto de vista da termodinâmica, a proteção total para o aço, deverá estar em sua zona de imunidade. No entanto, poder-se-á obter adequada proteção, sem incorrer-se em grandes polarizações. O primeiro critério, para aceitação da proteção catódica, é o do potencial, o que poderá vir a ser excessivamente rigoroso para determinados casos. O valor prático, deste potencial de proteção, não é uma constante absoluta. Para o aço, o valor de  $-850\text{mV}$ , com eletrodo de cobre sulfato de cobre (CSC), tem sido satisfatório, no entanto, o potencial de proteção para cada caso, varia com o eletrólito existente. Esta limitação conduz, na prática, ao uso de diversos outros critérios, para a aceitação dos serviços de proteção catódica. Com relação ao eletrodo CSC, certifique-se de que a solução, dentro do eletrodo esteja límpida e não turva, substituindo-a a cada dois ou três meses. Mantenha a ponta do eletrodo sempre saturada. Uma maneira interessante de certificar o trabalho realizado, é instalando-se eletrodos de referência na própria estrutura. Existem vários tipos de eletrodos de referência inertes, próprios para se instalar no interior da massa do concreto, de modo a se obter dados da estrutura com ou sem proteção catódica. Estes eletrodos são elementos ativos que têm um coeficiente de equilíbrio dinâmico extremamente pequeno. Metais como o grafite, a platina e algumas misturas de óxidos metálicos, comportam-se de forma inerte, uma vez inseridos dentro da massa do concreto, contaminado ou não com íons cloretos, mantendo assim potenciais estáveis. Como os elementos acima suportam bem as descargas anódicas, haverá pouca perda de material, mesmo deixando-se em aberto o circuito de medição dos potenciais, por um grande período de tempo. Se o sistema de proteção catódica, é operado usando-se o critério de queda dos  $100\text{mV}$  para 4 e 24 horas, deve-se utilizar esses eletrodos. Por outro lado, se o sistema é operado utilizando-se o critério dos potenciais absolutos ou tem a possibilidade de alcançar potenciais muito negativos, utiliza-se a semi-pilha portátil, conectando-se o polo terra ao fio que vem da armadura. A semi-pilha portátil, geralmente a de cobre-sulfato de cobre, também é recomendada para situações onde se deseja fazer comparações, entre potenciais encontrados originalmente na estrutura comprometida, e após os serviços de tratamento da corrosão. O ideal, na verdade, é fazer o monitoramento usando-se a semi-pilha para medições diretas, instalando-se eletrodos permanentes para servir como calibração. Na figura 31, a representação gráfica do resultado da aplicação da proteção catódica galvânica, na recuperação estrutural de uma laje teto de uma indústria química.



**Figura 30: Certificação do potencial de proteção, após a instalação do anodo galvânico na forma de tela, utilizando-se eletrodo SCS, antes da concretagem.**

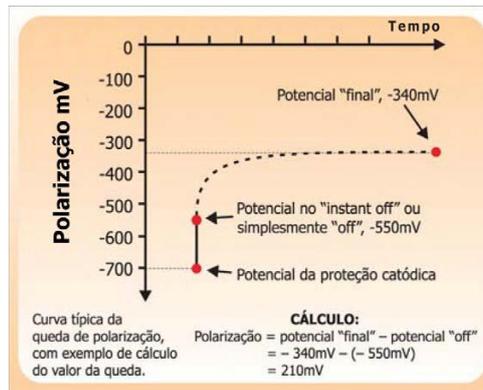


**Figura 31: Representação gráfica dos potenciais de proteção, obtidos em uma laje teto de uma indústria, após a recuperação estrutural com aplicação de proteção catódica galvânica.**

#### 4.4. NORMAS APLICAVEIS

Como as próprias normas RP 0290-90 e SHRP-5359 recomendam, poder-se-á utilizar uma combinação de critérios, que objetivem a melhor proteção para uma determinada estrutura. Utiliza-se o critério de polarização dos 100mV, sob o enfoque destas duas normas, utilizando-se uma queda de polarização mínima de 100mV. Esta diferença de potencial, é obtida a partir do momento que a proteção catódica é desligada monitorando-se, em seguida, a queda do potencial, através de um eletrodo de referência.

Segundo as normas acima, com a interrupção da corrente, ocorre uma alteração imediata do potencial, resultado da eliminação da voltagem, resultante do fluxo de corrente iônica, que percola pela solução nos capilares do concreto e que não deve ser incluída nas medidas. Desta forma, as normas propõem que seja utilizado o potencial lido imediatamente após a alteração, denominado potencial inicial  $E_i$ . O potencial final,  $E_f$ , é obtido pela leitura após quatro horas do teste, onde a diferença de potencial ( $\Delta = E_f - E_i$ ) é chamada potencial de depolarização e deve ser maior ou igual a 100mV, a fim de confirmar a eficiência da proteção catódica, conforme mostrado na figura abaixo.



**Figura 32: Curva do Potencial de depolarização em função do tempo.**

A norma SHRP-S-359, estabelece um maior grau de flexibilidade, comparado à Norma RP0290-90, uma vez que correlaciona a polarização necessária ou o potencial de depolarização devido a contaminação do concreto por uma concentração de íons cloretos (Cl<sup>-</sup>), conforme mostrado na tabela a seguir:

Valores de [Cl] em função do ΔE	
Concentração de íon Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> de concreto)	Potencial de Depolarização ou polarização necessária (mV)
< 0,6	0
0,6 – 1,2	60
1,2 – 3,0	80
3,0 – 6,0	100
6,0 – 12,0	150

**Tabela 5: Valores da Concentração de íons Cloretos e a Polarização Necessária para a Estrutura de Concreto Armado.**

A norma SHRP-5359, relaciona somente o teor de íons Cl<sup>-</sup> e não menciona outros íons nocivos à integridade da estrutura do concreto, no sistema de proteção catódica. O critério do intervalo de tempo, para obter o valor do potencial final, é idêntico ao intervalo de tempo adotado pela norma RP0290-90, ou seja, quatro horas.

## Referências:

- [1] NORMA SHRP – S 359 – “Strategic Highway Research Program – Criteria for the Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Elements”, 1994.
- [2] NORMA NACE International - RP0290 – 90 – “Protección Catódica de Acero de Refuerzo em Estructuras de Concreto Expuestas a la Atmosfera”, 1990.
- [3] Gentil, Vicente – Corrosão – 4ª edição, Editora LTC, 2003.
- [4] Glass, G.K., Buenfeld, N.R., Corrosion Science, V.39, pp. 1001, 1997.
- [5] Christopher, L Page and Geogi Sergi. Developments in Cathodic Protection Applied to Reinforced Concrete. Journal of materials in civil engineering/february 2000.
- [6] Derrien, F. et al. Cathodic Polarization Behavior of Steel in Solutions Simulating Concrete. Cement and Concrete Research, v.20, n.4, p.636-43, 1990.
- [7] Mattedi, V. A. – Proteção Catódica em Estruturas de Concreto Armado e Protendido – Tese de Mestrado. Rio de Janeiro, UFRJ, 1999.
- [8] UHLIG’S, Corrosion Handbook 2ª edition. John Wiley and Sons, inc., 2000.
- [9] BENNETT, J.E., SHUE, T.J., Galvanic Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Members Using Sacrificial Anodes Attached by Conductive Adhesives, Publication No. FHWA-RD-96-073, Federal Highway Administration, Washington, D.C., December 1996.
- [10] Journal of performance of constructed facilities/August 1999 pag 101,102.
- [11] G.R. Holcomb, B.S. Covino, J.H. Russel, S.J. Bullard, W.K. Collins, J.E. Bennett and H.M. Laylor – Humectant use in the cathodic protection of reinforced concrete.
- [12] Compositions and Processes for Remediating Hardned Cimentitious Materials, United States Patent nº 5.985.011.
- [13] Effect of an humectant agent on cathodic protection of reinforced concrete, José T. Pérez Quiroz, Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- [14] The lithium salt as a current enhancing agent, United States Patent nº 6.033.553.
- [15] Klisowski, S., Hartt, W.H., “Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction”, pp. 354-368, Ed. The Royal Society of Chemistry, Londres, Reino Unido, 1996.
- [16] Mietz, J. Isecke, B., “Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction”, pp. 200-209, Ed. The Royal Society of Chemistry, Londres, Reino Unido, 1996.
- [17] Rodrigues, J.C., “Corrosão tem fim. Use preteção catódica”, pp 5-9, Revista Recuperar, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Novembro/Dezembro 1994.
- [18] Rodrigues, J.C., “Dicas para avaliar o estado de corrosão no concreto armado”, pp 4- 8, Revista Recuperar, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Novembro/Dezembro 1996.
- [19] Rodrigues, J.C., Rocha, C.C., Rocha C.C., Monge, C.A., “A pastilha anticorrosão”, “ZTP protege barragens” e “MAZ”, pp 4-11; 12-16 e 28-33, Revista Recuperar,

Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Janeiro/Fevereiro 2000.

[20] Rodrigues, J.C., “A banalização da recuperação estrutural”, “Os segredos da corrosão (I)”, pp 4-10 e 24-33, Revista Recuperar, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Março/Abril 2002.

[21] Rodrigues, J.C., Pinto, E.S., “E prudente usar concreto armado/protendido em ambiente corrosivo sem proteção efetiva?” e “Os segredos da corrosão”, pp 5-10 e 26-33, Revista Recuperar, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Maio/Junho 2002.

[22] Rodrigues, J.C., “Os segredos da corrosão (V)”, pp 28-33, Revista Recuperar, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Setembro/Outubro 2003.

[23] Rodrigues, J.C., “Segredos da corrosão VII”, pp 20-26, Revista Recuperar, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Janeiro/Fevereiro 2004.

[24] Rodrigues, J.C., “Segredos da corrosão VIII”, pp 12-18, Revista Recuperar, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Brasil, Maio/Junho 2004.