

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ANODO DE SACRIFÍCIO PARA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO CONTRA CORROSÃO

César Augusto Madeira Trevisol (1), Fernando Pelisser (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) cesartrevisol@gmail.com, (2) fep@unescc.net

RESUMO

As maiores densidades demográficas no Brasil estão situadas no litoral, onde conseqüentemente se tem o maior número de edificações; sendo estas sujeitas a corrosão da estrutura de concreto armado, através do ingresso de íons cloreto, levando à deterioração precoce. As recuperações desses danos geram altos custos, quando não são necessárias demolições devido ao avançado processo de deterioração, ocorrendo a perda de todo investimento aplicado. Na intenção de oferecer maior segurança e durabilidade às estruturas, diversas empresas do ramo químico e de produtos para construção civil disponibilizam no mercado diferentes formas de proteção, para as mais diversas ocorrências de ataques corrosivos. O estudo do desempenho de anodo de sacrifício, para proteção de estruturas de concreto armado contra corrosão, é um método eficiente para garantir a durabilidade e a contenção de gastos com manutenções e recuperações. Este trabalho apresenta resultados e análises visual, química e de medidas de potencial realizadas em amostras de concreto armado, com e sem a aplicação de anodo de sacrifício, expostos a duas formas de indução e aceleração da corrosão: com auxílio da câmara de névoa salina; e através de ciclos de imersão parcial em solução de cloreto de sódio (NaCl). Os ensaios foram realizados num período de 1.080 horas e 42 dias, para câmara de névoa salina e ciclos de imersão parcial, respectivamente. Os resultados mostram que a técnica de potencial de corrosão aliada às análises química e visual, não foram suficientes para determinar o real desempenho do anodo de sacrifício. Foi possível constatar que o tempo de indução e aceleração da corrosão não promoveu a instalação da corrosão no aço. No entanto, a técnica permitiu comparar e analisar o comportamento das amostras com e sem anodo de sacrifício, evidenciando a atuação do anodo, mesmo sem a corrosão ter se instalado.

Palavras-Chave: *Corrosão de armaduras; Durabilidade; Anodo de sacrifício; Potencial de corrosão.*

1. INTRODUÇÃO

Dentre os mais variados métodos de combate à corrosão, lugar de destaque é ocupado pela proteção catódica com o uso de anodo de sacrifício, que dentro do seu campo de aplicação, se propõem a eliminar os processos de corrosão, tornando o material metálico imune, durante o período projetado.

Para Christopher (2000 *apud* RODRIGUES, 2005), a proteção catódica é a redução ou eliminação da corrosão devido à transformação das armaduras em catodos, devido à imposição de corrente galvânica ou impressa.

Rodrigues (2005, p. 20), coloca que a proteção catódica consiste em produzir fluxo de elétrons na direção desejada, e atualmente existem duas maneiras, sendo por corrente galvânica ou por corrente impressa. A primeira é obtida ligando-se um metal mais ativo, como por exemplo, o zinco, à estrutura, onde ambos ficam imersos no eletrólito. O resultado é uma pilha galvânica, na qual o metal ativo trabalha como anodo, promovendo um fluxo de elétrons para a estrutura, que se torna catódica. Neste caso, é destruído progressivamente, onde popularmente ficou conhecido como anodo de sacrifício.

Rodrigues (2003) salienta que, ao aplicar-se proteção catódica por corrente galvânica, utilizando-se anodos de sacrifício, está sendo formado 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 à área superficial das armaduras a serem protegidas ou catodizadas.

A característica fundamental do mecanismo eletroquímico da corrosão só pode ser verificada em presença de um eletrólito. A reação é composta de duas reações parciais: anódica, e catódica, que se processam em pontos distintos. A reação anódica é uma reação de oxidação, e tem como consequência a dissolução do metal, portanto, são liberados elétrons, os quais se deslocam para outros pontos do metal, onde ocorre a reação catódica, que é uma reação de redução.

Para que a corrosão aconteça é imprescindível que se tenha uma região anódica e catódica, o eletrólito como condutor e o circuito metálico, o qual estabelecerá a ligação entre o anodo e o catodo.

De acordo com Helene (1986 *apud* GUIMARÃES; HELENE, 2001), para que a corrosão no interior das estruturas de concreto se desenvolva, são necessárias as seguintes condições: deve existir um eletrólito, uma diferença de potencial (ddp) e oxigênio dissolvido na água presente nos poros do concreto, para regular todas as reações de corrosão. Agentes agressivos presentes no eletrólito podem acelerar a corrosão, como por exemplo, os íons sulfetos, os íons cloretos, o dióxido de carbono

e outros, podem ser considerados a quarta condição, por exercer forte influência no início e na velocidade do processo corrosivo, porque acentuam a diferença de potencial (ddp), e porque facilitam a dissolução da camada de passivação.

Diversos são os fatores que influenciam na penetração de íons cloretos no concreto, dentre eles pode-se destacar: relação água/cimento, tipos de cimento e adições, adensamento, cura, temperatura e presença de fissuras no concreto de cobrimento da armadura.

Os principais métodos eletroquímicos para avaliação da corrosão são: potenciais de corrosão, curvas de polarização, resistência de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica. Dentre estes métodos disponíveis, para esta aplicação, optou-se por trabalhar no presente estudo com medidas de potencial, dada a facilidade de respostas, simplicidade dos métodos e disponibilidade de equipamentos.

O potencial eletroquímico de corrosão das armaduras imersas no concreto fornece informações qualitativas que devem ser utilizadas sempre como complemento de outros ensaios e nunca de forma isolada ou absoluta (HELENE, 1993).

A medida de potenciais consiste na determinação da diferença de potencial elétrico entre o aço das armaduras e um eletrodo de referência que se coloca em contato com a superfície do concreto. A adoção de um eletrodo particular de referência é equivalente à eleição arbitrária de um ponto de origem na escala de potenciais (ANDRADE, 1992).

A norma ASTM C-876 (1991), orienta sobre as condições de uso, procedimentos, e interpretação dos resultados, associando valores de potenciais obtidos com o eletrodo de Cu/CuSO_4 , adotado neste estudo, à probabilidade de corrosão, como observado na tabela 1.

Tabela 01: Potenciais de corrosão para o ferro e a probabilidade de ocorrência

| Potencial de corrosão relativo ao eletrodo de referência de cobre-sulfato de cobre – ESC (mV) | Probabilidade de corrosão (%) |
|--|--------------------------------------|
| Mais negativo que -350 | 95 |
| De -200 a -350 | Incerta |
| Mais positivo que -200 | 5 |

Fonte: Cascudo (1994)

Neste sentido, avaliar o desempenho do anodo de sacrifício, na proteção contra a corrosão do aço em estruturas de concreto, situadas em ambiente marinho, onde estas sofrem um rápido processo de degradação, em um curto espaço de tempo, por meio de análises química, de pH, resistência à compressão, inspeção visual e ensaios eletroquímicos, é preocupação que ocupa espaço de destaque na área da construção civil.

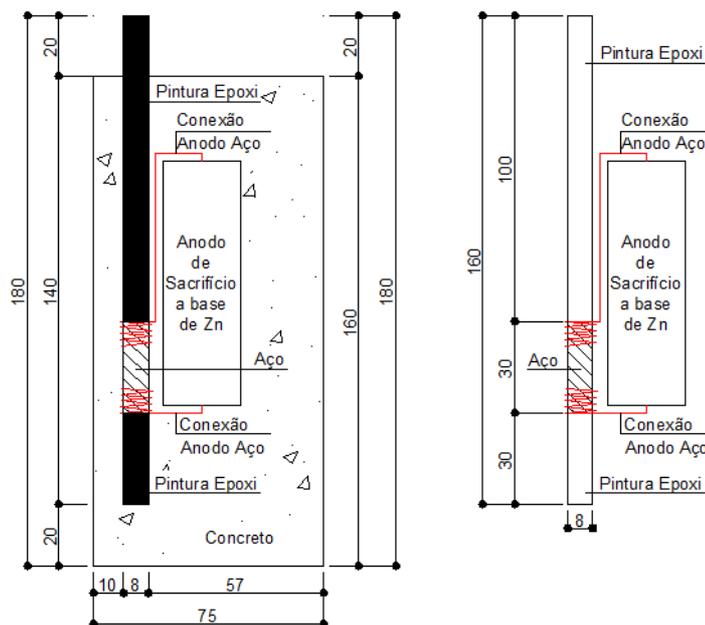
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para essa pesquisa foram produzidos seis corpos-de-prova cilíndricos de concreto, no tamanho de 10x20cm³, para análise da resistência à compressão axial aos 18 dias (início dos ensaios de indução da corrosão) e aos 60 dias (término dos ensaios). Os corpos-de-prova foram mantidos saturados durante este período.

A fim de aproximar o experimento da pesquisa à realidade e diminuir o tempo para que os resultados fossem alcançados, o traço utilizado foi de 1:7,2 com relação água/cimento (a/c) de 0,65, substituindo-se a brita convencional por pedrisco, adotando cobertura médio de 10 milímetros.

Para os ensaios de indução e aceleração da corrosão foram moldados doze corpos-de-prova, com aço, conforme ilustrado na figura 1, simulando estruturas de concreto armado, sendo que em seis foram instalados o anodo de sacrifício.

Figura 01: Detalhes construtivos do corpo de prova de concreto armado – medidas em milímetros.



Fonte: Autor (2012)

A nomenclatura utilizada para identificação dos corpos-de-prova foi A1, A2, A3, S1, S2, S3, para os ensaios cíclicos, CA1, CA2, CS1, CS2, para os ensaios com a câmara, e NA1, NS1 para as amostras referência, onde a letra “A” e “S” representam os corpos-de-prova com e sem anodo, respectivamente.

Para preparação das barras de aço, foi necessário cortá-las nas medidas especificadas na figura 1, onde na sequência, efetuou-se o procedimento de limpeza especificado na norma ASTM G1 (1999), de modo a conferir a todas as barras uma superfície livre de óxidos e outras impurezas que pudessem mascarar os resultados.

Após a limpeza, as barras de aço foram protegidas parcialmente com pintura epóxi a base de alcatrão de hulha, delimitando a região de exposição a 30 mm de comprimento, a fim de potencializar a corrosão em um único ponto.

Em seis, dos doze corpos-de-prova, foi instalado o anodo de sacrifício, onde este ficou amarrado diretamente na armadura, utilizando arames de fixação, garantindo o contato elétrico entre o anodo e a barra de aço e a restrição ao movimento.

Dois corpos-de-prova, sendo um com anodo e outro sem, foram mantidos em cura imersa, sem qualquer indução de corrosão, onde ao final dos ensaios de indução e aceleração da corrosão, estes foram analisados para tomarem-se como referência aos demais corpos-de-prova.

Os dez corpos-de-prova remanescentes foram expostos a um ambiente agressivo em laboratório por meio de duas técnicas de indução e aceleração de corrosão, sendo seis corpos-de-prova via ciclos de secagem e imersão parcial em solução de cloreto de sódio (NaCl), e quatro via introdução na câmara de névoa salina.

Para o ensaio de névoa salina foram seguidas as orientações da norma ASTM B117, onde é adotada uma solução com concentração de 5% de NaCl, aquecida a 35°C, sendo necessário para a formação da névoa o controle da pressão por meio de uma válvula reguladora, que foi mantida em 70 kPa.

No ensaio com a câmara de névoa salina, a cada 72 horas havia uma interrupção, a fim de verificar o estado em que se encontravam os corpos-de-prova, e preencher o reservatório com solução, onde ao final de 1.080 horas de exposição à atmosfera agressiva, os corpos-de-prova foram submetidos à leitura de potenciais.

O ensaio por meio de ciclos para indução e acelerado de corrosão adotado segue a linha apresentada por Lima *et al.* (2001) [10], onde, após o período de cura, realizaram-se as primeiras medidas de potencial, iniciados os ciclos de secagem e imersão. A secagem, realizada em estufa, perdurou por quatro dias e logo após os corpos-de-prova sofreram imersão parcial por três dias em uma solução contendo 3,5% de cloreto de sódio, essa sequência foi mantida durante 42 dias, sendo que as leituras de potencial foram feitas assim que os corpos-de-prova saíam do ciclo de secagem.

O equipamento utilizado para o acompanhamento do processo de indução e aceleração da corrosão é constituído de uma meia-célula de referência de cobre-sulfato de cobre, um voltímetro de alta impedância e cabos conectores, produzido segundo a norma ASTM C-876 (1991).

Ao final dos ensaios foram verificadas as leituras dos potenciais e separados os corpos-de-prova que obtiveram maior resultado quanto à probabilidade de a corrosão ter se instalado, sendo que estes foram abertos e analisados visualmente.

Após o término do período de ensaio foi realizada análise visual quanto à presença de corrosão. Os corpos-de-prova foram colocados para secagem na estufa por quatro dias, onde após este período foi realizada a coleta do concreto envolto ao aço exposto (sem pintura anticorrosiva), na espessura de 7mm, utilizando-se cerca de três gramas (em pó) para realizar análise química por espectrometria de fluorescência de raios x, e espectrometria de absorção atômica, segundo PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103, com o objetivo de evidenciar a deposição de zinco, transportado da área anódica (anodo de sacrifício) para a área catódica (barra de aço).

Para análise do pH - parte do concreto foi coletada aleatoriamente -, foram extraídas cerca de 10 gramas (em pó) e depositadas em frascos de vidro, com preenchimento de 20 gramas de água deionizada, sendo homogeneizada e deixada em repouso durante quatro dias. Após este período, foi verificado o pH com o uso de um pHmetro, a fim de constatar a ocorrência da alteração da alcalinidade do concreto.

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Cimento

Foi utilizado cimento tipo Portland CPV – ARI, pelo fato de possuir alta resistência nos primeiros dias de idade, indicado para situações em que se necessita de desforma rápida e resistência aos agentes agressivos do meio ambiente.

2.1.2 Agregado Miúdo e Graúdo

O agregado miúdo adotado foi uma areia quartzosa utilizada por empresas da região.

O agregado graúdo utilizado foi do tipo pedra britada número zero (pedrisco), de natureza basáltica, frequentemente utilizada na região.

2.1.3 Aço

As barras de aço utilizadas para confecção dos corpos-de-prova foram do tipo CA-50, com diâmetro de 8 mm, de acordo com as especificações da norma NBR 7480.

2.1.4 Anodo de Sacrifício

Estudou-se apenas um tipo de pastilha, composta de uma liga de zinco no núcleo, envolto de argamassa cimentícia, ionizada com sal de lítio, disponível no mercado nacional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO

A resistência à compressão do concreto para composição 1:7,2:0,65 (cimento:agregados:a/c, em massa), medida aos 18 e 60 dias, foi de $29,3 \pm 1,0$ MPa, e $37,3 \pm 1,0$ MPa, respectivamente.

3.2 ANÁLISE VISUAL DOS CORPOS-DE-PROVA

A partir das medidas dos potenciais realizadas nos corpos-de-prova ao término dos ensaios acelerados com cloretos, aos 42 dias de indução e aceleração da corrosão, foi observado que as amostras A1 e S3, com e sem anodo respectivamente, obtiveram os maiores potenciais, estando ambas na faixa de 95% de probabilidade de a corrosão estar instalada na armadura.

A fim de comprovar a instalação da corrosão, os corpos-de-prova foram rompidos e analisados visualmente, onde conforme figuras 2a, 2b, 3a e 3b, pode-se observar que a armadura não apresentou indícios de que a corrosão tenha se instalado, sendo que após a secagem em estufa, não foram observadas diferenças significativas.

Figuras 2a e 2b: Inspeção do aço nas amostras A1(a) e S3(b) - Úmidas



(a)

Fonte: Autor (2012)



(b)

Fonte: Autor (2012)

Figuras 3a e 3b: Inspeção do aço nas amostras A1(a) e S3(b) - Secas



(a)

Fonte: Autor (2012)



(b)

Fonte: Autor (2012)

Os corpos-de-prova submetidos à indução da corrosão por meio da câmara de névoa salina também foram analisados visualmente após às 1.080 horas de indução e aceleração da corrosão. As medidas de potenciais foram efetuadas, e as amostras CA1 e CS2 apresentaram os maiores potenciais, estando ambas na faixa de 95% de probabilidade de a corrosão estar instalada nas armaduras.

Pode-se verificar nas figuras 4a, 4b, 5a e 5b que a armadura não apresentou indícios de que a corrosão tenha se instalado, não sendo observadas diferenças significativas, mesmo após a secagem durante quatro dias em estufa.

Figuras 4a e 4b: Inspeção do aço nas amostras CA1(a) e CS2(b) - Úmidas



(a)

Fonte: Autor (2012)



(b)

Fonte: Autor (2012)

Figuras 5a e 5b: Inspeção do aço nas amostras CA1(a) e CS2(b) - Secas



(a)

Fonte: Autor (2012)



(b)

Fonte: Autor (2012)

3.3 ANÁLISE QUÍMICA DO CIMENTO EM CONTATO COM A ARMADURA

O material coletado dos corpos-de-prova, após a análise visual e secagem em estufa, foi encaminhado para análise química, onde os resultados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Análise química do cimento em contato com a armadura

| CORPOS-DE- PROVA | TIPO DE INDUÇÃO DA CORROSÃO | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | Com Anodo | | | Sem Anodo | | |
| | Referência - NA1 | Cíclico - A1 | Câmara - CA1 | Referência - NS1 | Cíclico - S3 | Câmara - CS3 |
| ELEMENTO | TEOR (%) | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 4,25 | 4,95 | 5,63 | 4,73 | 5,63 | 3,96 |
| CaO | 9,22 | 9,24 | 8,48 | 8,57 | 8,86 | 8,27 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,66 | 2,51 | 3,51 | 3,21 | 3,25 | 2,56 |
| MgO | 1,42 | 1,42 | 1,54 | 1,50 | 1,52 | 1,31 |
| Na ₂ O | 0,54 | 0,77 | 0,81 | 0,65 | 0,88 | 0,48 |
| SiO ₂ | 76,1 | 74,11 | 73,79 | 75,78 | 73,75 | 77,65 |
| ZnO | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |

Fonte: Autor (2012)

Como pode ser observado na tabela 2, ao se comparar os resultados obtidos com os corpos-de-prova com e sem anodo e as referências, para o óxido de zinco (ZnO), produto da reação do zinco com o oxigênio, pode-se concluir que não houve deposição, proveniente da reação catódica, na região próxima à barra de aço, evidenciando que o pequeno período de ensaio limitou a análise dos resultados.

Em geral, as composições químicas foram equivalentes, não havendo alterações devido à presença do anodo de sacrifício, ou dos métodos de indução e aceleração da corrosão.

3.4 ANÁLISE DO PH DO CONCRETO

Durante a coleta do material para análise química foram retiradas amostras para verificação do pH do concreto, onde, com o uso do pHmetro, foram verificados os resultados que são apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Medidas de pH do Concreto

| Ensaio Aplicado | Amostra | pH |
|-----------------|---------|-------|
| Cíclico | A1 | 11,68 |
| Cíclico | S3 | 11,80 |
| Referência | NA1 | 12,02 |
| Referência | NS1 | 12,08 |
| Câmara | CA1 | 12,33 |
| Câmara | CS2 | 12,38 |

Fonte: Autor (2012)

O processo de carbonatação do concreto ocorre da reação do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono, tendo como produto o carbonato de cálcio, sendo que as formas mais severas de carbonatação ocorrem em ambientes com alta concentração de dióxido de carbono, ou devido ao processo de lixiviação avançado.

Analisando a tabela 3, pode-se constatar que não ocorreu carbonatação do concreto ao final dos ensaios para indução e aceleração da corrosão, devido aos ensaios não promoverem as condições necessárias para que a mesma ocorresse.

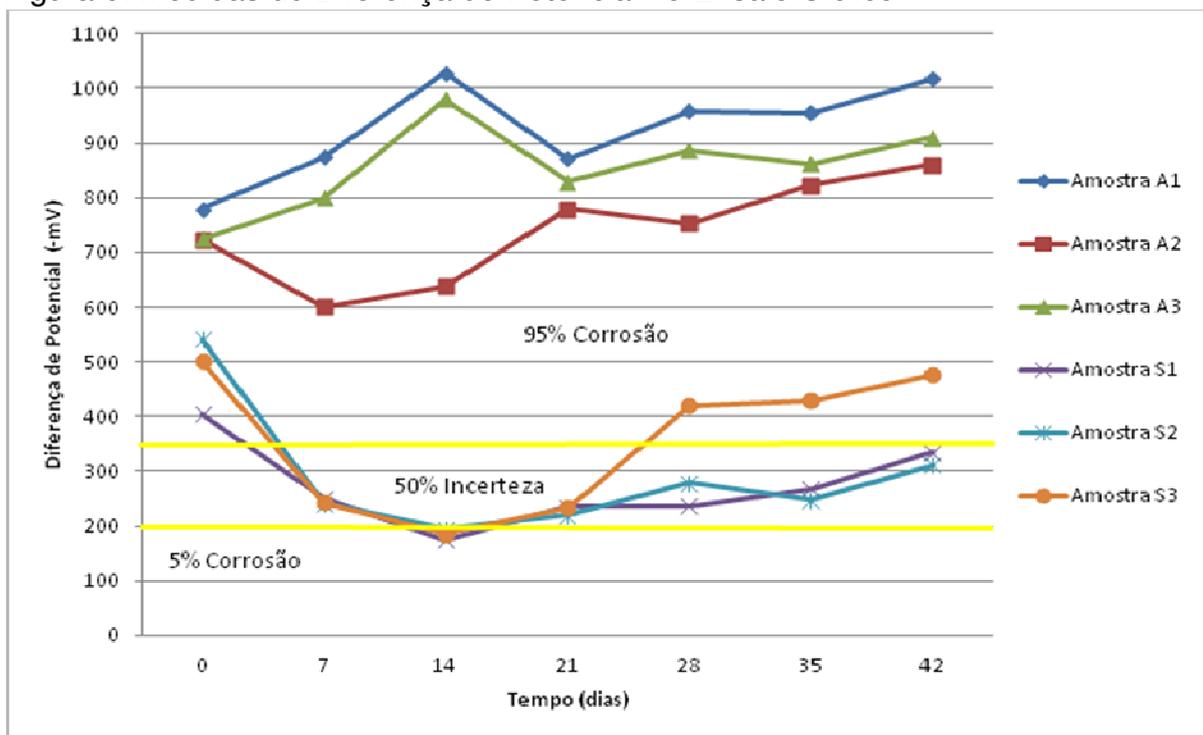
3.5 MEDIDAS DE DIFERENÇA DE POTENCIAL

3.5.1 Medidas de Diferença de Potencial para o Ensaio Cíclico

No total foram analisados seis corpos-de-prova, sendo três com anodo, identificados como A1, A2 e A3; e três sem anodo, identificados como S1, S2 e S3.

As leituras dos valores dos potenciais de corrosão para cada amostra ao longo do tempo são apresentadas no gráfico da figura 6, sendo importante destacar que no instante zero as amostras estavam com 18 dias de idade, onde até este período ficaram em cura imersa.

Figura 6: Medidas de Diferença de Potencial no Ensaio Cíclico



Fonte: Autor (2012)

Fazendo uma análise global pode-se identificar a atividade do anodo de sacrifício, por meio dos altos potenciais, com amplitudes entre -600mV a -1020mV, mesmo sem que a corrosão tenha sido provocada por cloretos, comprovando assim que a corrosão ocorre devido ao contato de materiais metálicos diferentes, como no caso o aço carbono (armadura) e o zinco (anodo). Para as amostras sem anodo observa-se que os potenciais no instante zero são elevados, o que contraria a ideia inicial de que o aço esteja passivado devido ao ambiente alcalino no interior da massa de concreto. No caso desse estudo, tal comportamento pode ser atribuído ao fato de as amostras terem sido mantidas imersas, a fim de garantir a cura úmida necessária para estabilização das propriedades do concreto, e não aos processos de corrosão, devido ao fato de estar na faixa de 95% de probabilidade de ocorrência da mesma.

Vieira (2007, p. 66), destaca que a massa de concreto, quando saturada não oferece a mesma resistência de quando seca, ou seja, a queda ôhmica que antes ocorria devido à resistência oferecida pela camada de concreto não ocorre mais, porém muitas interferências são observadas pela variação da umidade.

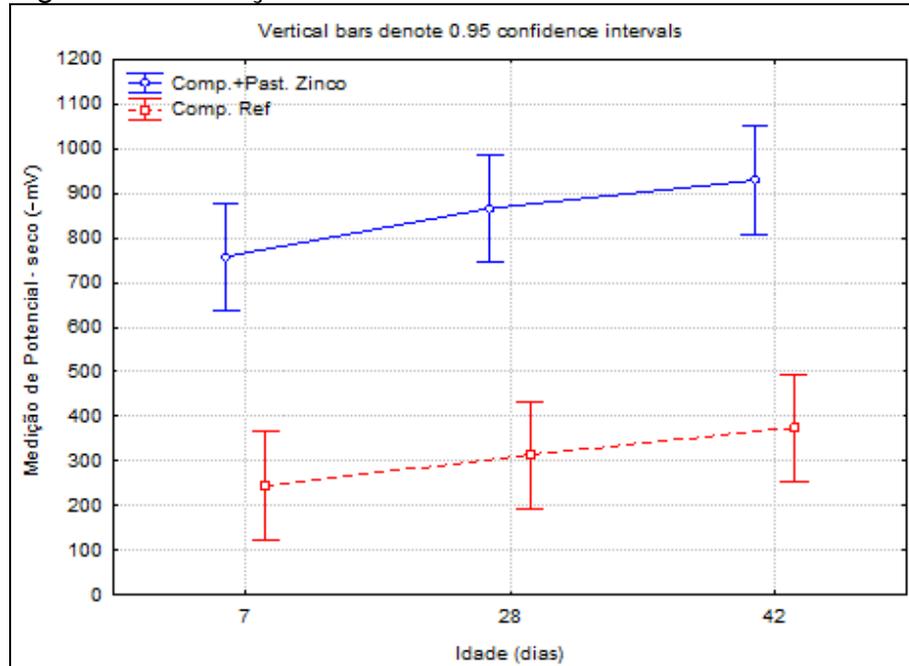
Cascudo (1994) também alerta para o fato de que ao se trabalhar com camadas superficiais de concreto de alta resistividade, no caso da presença de frentes de cloretos ou elevado teor de umidade do concreto, há uma tendência na redução dos valores do potencial, tornando-os menos eletropositivos do que o são na realidade.

Observando o gráfico da figura 6 verifica-se que a amostra S3 alcançou a faixa de 95% probabilidade de corrosão antecipadamente das amostras S1 e S2, acreditando-se que esta situação tenha ocorrido devido ao maior número de poros interligados, proporcionando que os íons cloretos avançassem com maior facilidade. Porém, seriam necessários testes de permeabilidade para comprovar esta teoria.

A amostra A2 se destaca por apresentar um comportamento diferenciado das amostras A1 e A3 nas primeiras idades, sendo que este comportamento da amostra A2 deixa em aberto algumas possibilidades. A mais provável seria que o anodo de sacrifício possuía algum problema em sua liga metálica, que possa ter ocasionado um retardo no início da indução da corrente galvânica de proteção.

Considerando os resultados apresentados na figura 7, e através da realização de análise estatística de variância (ANOVA), pode-se constatar que as medidas de potencial, realizadas aos 7, 28 e 42 dias, mostram que a idade não tem efeito significativo nas medidas de potencial. Porém indicam uma tendência de evolução. Pode-se verificar também (fig. 7) que o potencial possui um comportamento de crescimento conforme a idade. Também merece destaque a semelhança entre as curvas de potencial para as amostras com e sem anodo, mostrando que a aplicação do anodo não interfere no comportamento e sim na amplitude dos potenciais.

Figura 7: Diferença de Potencial – Com e sem Anodo de Sacrifício



Fonte: Autor (2012)

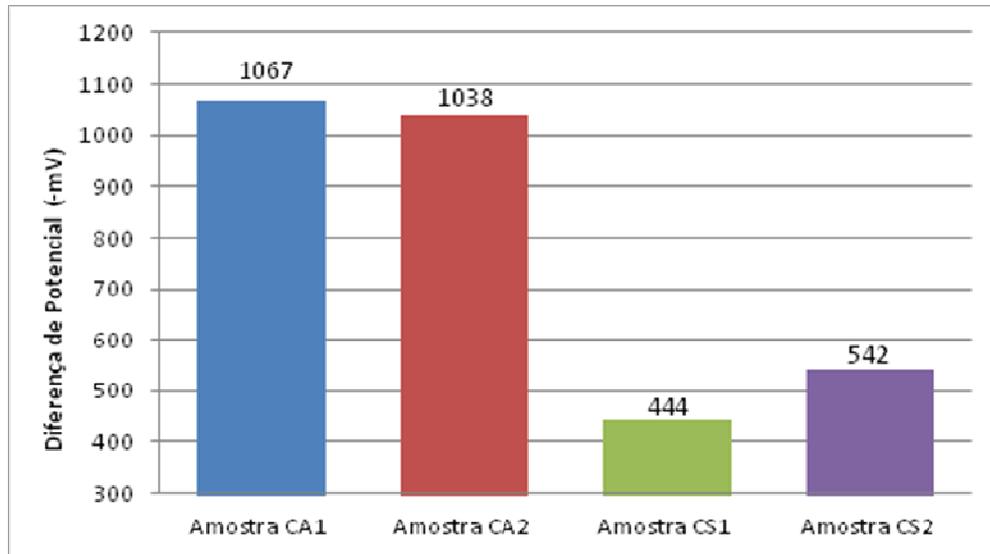
Portanto, pode-se destacar que a análise dos potenciais com o uso do voltímetro de alta impedância, para as amostras submetidas ao ensaio acelerado por cloretos, evidenciou a atividade do anodo de sacrifício, onde este ao induzir a corrente de proteção galvânica fez com que os potenciais se elevassem a patamares superiores quando comparado com as amostras sem anodo de sacrifício.

3.5.2 Medidas de Diferença de Potencial para o Ensaio na Câmara de Névoa Salina

As medições de potencial para o ensaio na câmara de névoa salina foram feitas somente após o término das 1.080 horas, onde no total foram utilizados quatro corpos-de-prova, sendo dois com anodo, identificados como CA1 e CA2; e dois sem anodo, identificados como CS1 e CS2.

As leituras dos valores dos potenciais de corrosão, para cada corpo de prova ao término do ensaio são apresentadas no gráfico da figura 8. É importante ressaltar que as medidas do potencial foram tomadas logo após a retirada dos corpos-de-prova da câmara, a qual simula um ambiente saturado (névoa salina).

Figura 8: Medidas de Diferença de Potencial após 1.080 horas – câmara de névoa salina

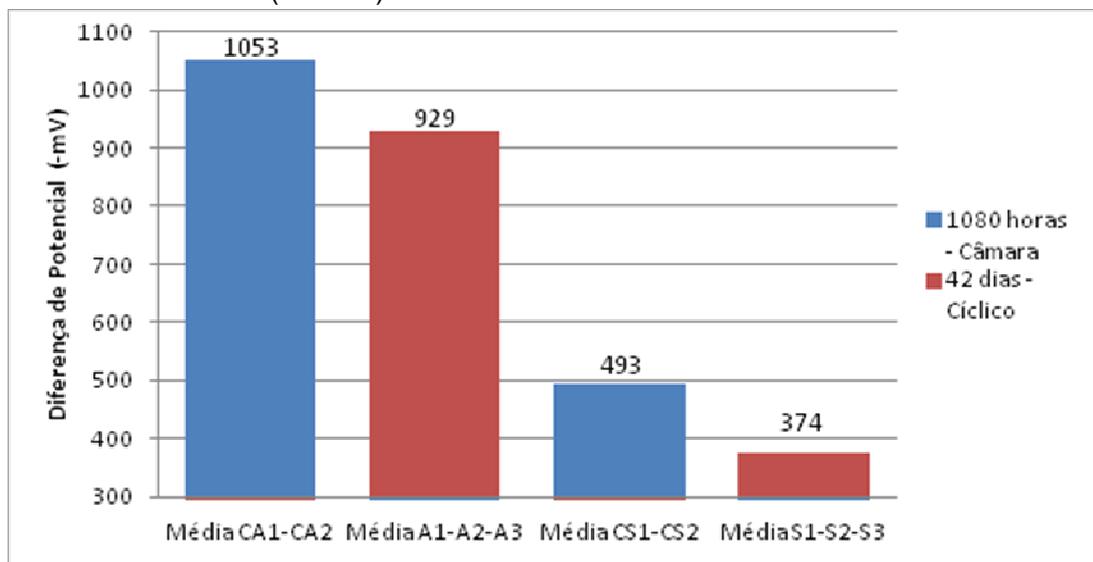


Fonte: Autor (2012)

Como pode ser observado no gráfico da figura 8, os potenciais dos corpos-de-prova após 1.080 horas (45 dias) de exposição à névoa salina, resultaram em potenciais semelhantes aos encontrados nos ensaios cíclicos.

Conforme o gráfico da figura 9, onde são comparadas as médias dos resultados obtidos na câmara com as médias dos resultados obtidos no ensaio cíclico, percebe-se que a variação entre os potenciais é devida ao fato de que os corpos-de-prova da câmara estejam com os poros saturados pela névoa salina, e os corpos-de-prova do ensaio cíclico estejam secos.

Figura 9: Médias das Diferenças de Potencial após 1.080 horas (Câmara) e 42 dias (Cíclico)



Fonte: Autor (2012)

Analisando os resultados apresentados no gráfico da figura 9 constata-se que os ensaios cíclicos e de névoa salina possuem um desempenho equivalente para o período de 42 e 45 dias, respectivamente. Acredita-se que em períodos maiores os ensaios cíclicos apresentem melhores resultados, devido ao fato de os corpos-de-prova intercalarem entre momentos secos e saturados, gerando uma força de sucção superior, fato este que não ocorre na câmara de névoa salina.

Portanto, conforme comentado anteriormente, os resultados dos potenciais apresentados para os corpos-de-prova submetidos à névoa salina evidenciam a atividade do anodo de sacrifício, porém não é possível avaliar o mesmo comportamento no ensaio cíclico.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões observadas neste trabalho são apresentadas a seguir:

- A metodologia e os intervalos de caracterização do processo corrosivo no concreto armado, estabelecido pela ASTM C-876, não foi suficiente para comprovar a instalação da corrosão, visto que as análises visuais e químicas evidenciaram que a mesma não havia se instalado.
- Foi constatada a atividade do anodo de sacrifício através dos potenciais elevados, evidenciando a indução da corrente galvânica de proteção, na qual, futuramente, quando a corrosão provocada por cloretos venha a se instalar, o anodo será corroído, preservando a armadura.
- As técnicas de indução e aceleração da corrosão aplicadas neste estudo não apresentaram diferenças significativas devido ao tempo de ensaio, porém, acredita-se que a indução por ciclos de imersão parcial e secagem, a longo prazo, tende a ser mais efetiva devido à geração de uma força de sucção superior, ocasionada pela intercalação entre momentos secos e saturados.
- A aplicação de anodo de sacrifício em estruturas novas não é indicada, pois esta será corroída, mesmo sem a presença da corrosão proveniente do ataque de cloretos. Isto se deve ao contato de materiais metálicos distintos; sendo assim, o anodo de sacrifício terá seu melhor desempenho quando empregado em reparos e manutenções devido à detecção de corrosão nas armaduras, carbonatação do concreto, ou contaminação por cloretos.

Por fim, pode-se destacar que o anodo de sacrifício teve sua atuação detectada por meio das medidas de potencial, onde foi constatada a indução da corrente galvânica de proteção, porém, para avaliar o real desempenho, é necessário que a corrosão, proveniente do ataque de cloretos tenha se instalado, fato que não foi verificado, devido a curto período disponível para ensaio.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), **Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete: C876: 1991**. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.

CASCUDO, Oswaldo. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini Ltda, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), **Standard Practice for Preparing, Operating Salt Spray (Fog) Apparatus: B117: 1991**. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), **Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens: G1/1999**. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.

ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Pini Ltda, 1992.

GUIMARÃES, André Tavares da Cunha; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Influência do Grau de Saturação do Concreto Sobre a Difusão de Íons Cloreto**. 43 CBC – IBRACON, 2001.

HELENE, Paulo. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 1993. Tese (Livre Docência), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LIMA, Rosele Correia de. *et al.* **Avaliação da Eficiência de Inibidores de Corrosão em Reparo de Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo: EPUSP, 2001.

RODRIGUES, Joaquim, Correia. **Anodos de Sacrifício para Proteção Catódica em Estruturas de Concreto Armado**. 2005. 92 f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro COPE/UFRJ, 2005.

RODRIGUES, Joaquim, Correia. Os segredos da corrosão (V). **Revista Recuperar**, Instituto de Patologias da Construção, Rio de Janeiro, Setembro/Outubro 2003. p 28-33.

VIEIRA, Daniel Venâncio. **Análise do Desempenho de Aditivos Inibidores de Corrosão em Concreto Armado**. 2007. 119 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.