

ANÁLISE DOS PROCESSOS CORROSIVOS E DA PROTEÇÃO CATÓDICA POR ANODOS DE SACRIFÍCIO NO AÇO CA 40 E NO AÇO AISI 304

Rodrigues, Alan Volponi ¹

Nascimento, Felipe Carvalho do ¹

Siqueira Lima, Leandro ²

RESUMO

Para prevenir a corrosão no aço e em estruturas metálicas, diversas técnicas são estudadas e aplicadas. Entre estas, destaca-se a proteção catódica por anodos de sacrifício que é muito utilizada devido ao seu baixo custo quando comparada com outras. Neste contexto, este trabalho compara esta técnica em dois aços com propriedades distintas. Os aços estudados foram o aço CA 40 e o aço inoxidável AISI 304, ambos sobre a proteção catódica galvânica por anodos de zinco. O intuito da escolha dos aços partiu do fato de serem aços usualmente utilizados na fabricação das armaduras metálicas e em outras composições na construção civil. As amostras sofreram uma limpeza superficial antes do início do estudo e foram emergidas em uma solução corrosiva contendo cloreto de sódio (8%) e cloreto de amônio (4%) misturados em um recipiente de vidro. As técnicas utilizadas para avaliar a eficácia da proteção catódica realizada pelo zinco foram análises ópticas e observações. Os corpos-de-prova sem a presença do zinco foram afetados de forma agressiva. Por outro lado, as amostras mergulhadas sob a proteção de anodos de zinco mostraram um comportamento excelente, a corrosão foi inibida, desenvolvendo-se nos anodos de zinco e protegendo o aço. Os anodos de zinco também foram analisados e comparados para demonstrar sua eficiência e qualidade na proteção. O anodo utilizado como proteção no aço CA 40 foi extremamente afetado enquanto no anodo do aço inoxidável AISI 304 a corrosão foi menos intensa devido as propriedades específicas desse aço.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, proteção catódica, anodo de sacrifício.

ABSTRACT

To prevent corrosion in steel and metallic structures, several techniques are studied and applied. Among these, cathodic protection by sacrificial anodes stands out, which is widely used due to its low cost when compared to others. In this context, this work compares this technique on two steels with different properties. The steels studied were CA 40 steel and AISI 304 stainless steel, both under galvanic cathodic protection by zinc anodes. The purpose of choosing steels came from the fact that they are steels usually used in the manufacture of metal reinforcement and in other compositions in civil construction. They underwent a superficial cleaning before the beginning of the study and were emerged in a corrosive solution containing sodium chloride (8%) and ammonium chloride (4%) mixed in a glass container. The techniques used to evaluate the effectiveness of the cathodic protection performed by zinc were optical and applied analyzes. Proof-proofs without the presence of zinc were aggressively affected. On the other hand, those dipped under the protection of non-deformable zinc anodes have an excellent behavior, corrosion has been inhibited, developing in the zinc anodes and protecting the steel. The zinc anodes were also distributed and compared to demonstrate their efficiency and quality in protection. The anode used as protection in CA 40 steel was extremely affected while in the anode of stainless steel AISI 304 the corrosion was intense due to the specific properties of this steel.

KEY-WORDS: Corrosion, cathodic protection, sacrificial anode.

¹ Acadêmicas do curso de Engenharia Civil

² Doutor - Professor Multivix- Serra

INTRODUÇÃO

Num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 1996). A corrosão metálica resulta em problemas significativos para a indústria através de gastos na prevenção, na manutenção ou na substituição dos produtos danificados. Estima-se que cerca de 5% das receitas de uma indústria sejam utilizadas nos métodos descritos acima (LOUREIRO, 2005).

A proteção catódica trata-se de um investimento de longo prazo e alcança bons resultados quando utilizada de forma correta. Sua aplicação permite a utilização de estruturas de aço enterradas, expostas ao meio ou submersas com a vida útil prolongada, impedindo que a corrosão cause prejuízos de vários aspectos (RODRIGUES, 2010).

A proteção catódica por anodos de sacrifício é capaz de eliminar ou diminuir ataques corrosivos eletroquímicos e eletrolíticos em estruturas metálicas com ou sem revestimento, dessa forma, trata-se da principal técnica de combate a corrosão utilizada atualmente. Por ser um processo anticorrosivo ativo, a proteção catódica por anodos de sacrifício pode ser ajustada de acordo com as necessidades operacionais da estrutura. Os excelentes resultados e sua relativamente fácil aplicação justificam seu uso em várias situações (DIAS, 2009) apud (OLIVEIRA, 2008).

Na proteção catódica galvânica, o fluxo de corrente ocorre entre dois metais, sendo, o metal que será protegido e o metal que será utilizado como anodo. O metal anodo deve apresentar potencial mais negativo de acordo com a série galvânica, esses metais são eletronegativos em relação ao meio em que a estrutura está exposta, realizando a proteção com aptidão. Normalmente, quando utilizados em solos, o magnésio e o zinco possuem a maior eficiência e custo benefício. Para estruturas de água salgada, o zinco e alumínio são empregados (SARTORI, 2014) apud (GALVÃO, 2008).

Temos por objetivo analisar de que forma a proteção catódica atua e como se torna o melhor método para impedir a oxidação em estruturas de concreto armado, ademais, demonstrar a eficiência da proteção catódica, avaliar a possível capacidade de adaptação à necessidade da estrutura e comparar sua utilização em estruturas com revestimento e sem revestimento. Esta técnica, é empregada em várias áreas diferentes, e de extrema

importância e deve ser devidamente utilizada, para isso, este estudo baseia-se em testes práticos para verificar se sua eficiência e seus efeitos.

A metodologia utilizada é descritiva, o ensaio realizado será contado com corpos de prova simulando estruturas de concreto armado com a armadura exposta, serão representados pelo aço CA 40 e o aço inoxidável AISI 304 a fim de comparar os resultados que serão enfatizados em imagens e relatórios.

A escolha dos materiais de estudo provém do fato de ambos possuírem propriedades distintas em relação ao problema analisado. O aço CA 40 é comumente utilizado na fabricação das armaduras metálicas do concreto, assim como também é utilizado em diversos tipos de estruturas, por possuir uma boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura, porém é suscetível a sofrer corrosão, em comparação, o aço inoxidável AISI 304 é um aço inox austenítico e possui elevada resistência a oxidação (sofre, em alguns casos, corrosão localizada) e são utilizados principalmente em aplicações de temperatura ambiente. A escolha de ambos se deve ao fato da possibilidade de verificar a eficiência da proteção catódica em aços de propriedades distintas, e comparar se este método é adequado a diferentes tipos de corrosão. O teste realizado nos aços mencionadas vai permitir, através da coleta de resultados, verificar se a proteção catódica por anodos de sacrifício pode ser efetiva como meio preventivo nas armaduras metálicas do concreto armado expostas a ambientes semelhantes ao simulado.

Os métodos utilizados para elaboração deste trabalho foram feitos por meio de pesquisa bibliográfica, artigos publicados e sites confiáveis, documentos, ensaio, observação e análise de dados que permitiram a divulgação de imagens e desenvolvimento de relatórios.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesse estudo foram o aço inoxidável AISI 304 e o aço CA 40, ambos na forma cilíndrica com diâmetro de 1". A composição química dos materiais utilizados neste estudo é encontrada na tabela 1.

Aço	C máx.	Mn máx.	P máx.	S máx.	Si máx.	Ni	Cr	Mo
AISI 304	0,08	2,00	0,045	0,030	0,75	8,00-10,50	18,00-20,00	2,00-3,00
CA 40	0,20-0,40	1,00	0,040	0,040	1,50	1,00	11,50-14,00	0,50

Tabela 1 – Composição química dos aços
Fonte: Favorit, Imbilinox

O aço inoxidável AISI 304 se caracteriza por uma boa resistência à corrosão devido ao cromo. É um aço austenítico com baixo teor de carbono, não sendo capaz de endurecimento por tratamento térmico. Possui os melhores resultados de resistência à corrosão no estado solubilizado e com superfície polida (SANTOS, 2002).

O aço CA 40 está susceptível a ação corrosiva dos meios em que ele está exposto, fazendo com que sua vida útil diminua drasticamente devido à corrosão. A dureza máxima deste aço está associada ao seu teor de carbono e a ausência de elementos de liga que altera a transformação austenita, formando um aço ferrítico (MONNERAT, 2017).

CONFECÇÃO DOS ANODOS DE SACRÍFICIO

O metal utilizado como anodo de sacrifício deve ter um potencial baixo na série galvânica, normalmente o metal mais utilizado é Zn de potencial -1,10V comparado com Fe de potencial -0,44V. Os anodos de zinco foram situados junto aos corpos-de-prova, possuem o formato cilíndrico, com 15mm de diâmetro e 10mm de comprimento.



Figura 1 – Anodo de zinco
Fonte: Autor

A figura 1 exemplifica um dos anodos de zinco utilizados nesse estudo, conforme dito anteriormente, possuem formato cilíndrico com as dimensões já apresentadas. O fluxograma da figura 2 demonstra, resumidamente, os métodos utilizados neste estudo.

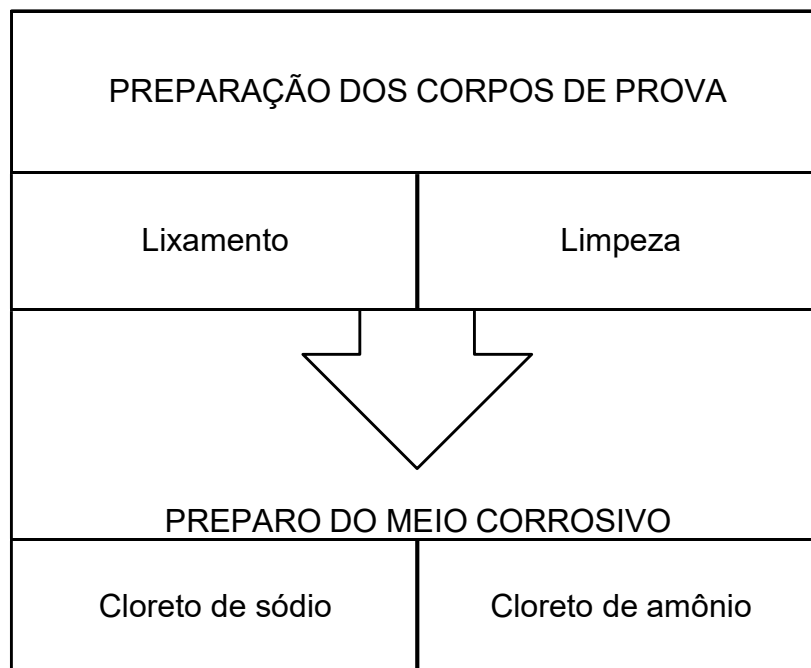


Figura 2 – Metodologia do estudo
Fonte: Autor

O estudo baseou-se na utilização de corpos-de-prova do formato cilíndrico com 1” de diâmetro. Os corpos-de-prova passaram por uma limpeza e lixamento para retirada de impurezas externas que poderiam interferir no resultado do estudo.

O ensaio realizado será contado com quatro corpos de prova simulando a armadura de uma estrutura exposta a um ambiente corrosivo, serão representados pelo aço CA 40 e o aço inoxidável AISI 304 a fim de comparar os resultados que serão enfatizados em imagens e relatórios.

PREPARO DO MEIO CORROSIVO

A tabela 2 demonstra o processo de elaboração dos materiais utilizados no estudo.

Aço CA 40	Aço AISI 304
2 corpos-de-prova	2 corpos-de-prova
1 anodo de zinco	1 anodo de zinco
Solução corrosiva: NaCl e NH ₄ Cl	Solução corrosiva: NaCl e NH ₄ Cl

Tabela 2 – Preparativo dos materiais

Fonte: Autor

O meio corrosivo utilizado é uma solução aquosa que consiste em água misturada com cloreto de amônio e cloreto de sódio, de forma a acelerar o processo de oxidação. A proporção utilizada dos cloretos foi de 8% de NaCl e 4% de NH₄Cl em relação a quantidade de água armazenada no recipiente. Essa quantidade foi utilizada por ser o suficiente para produzir resultados no experimento.

De acordo com a figura 3, o tanque de ensaio da proteção catódica por anodos de sacrifício foi feito de vidro, envolvido pela solução preparada em que foram depositados quatro corpos-de-prova, dois ligados aos anodos de zinco e dois sem proteção.

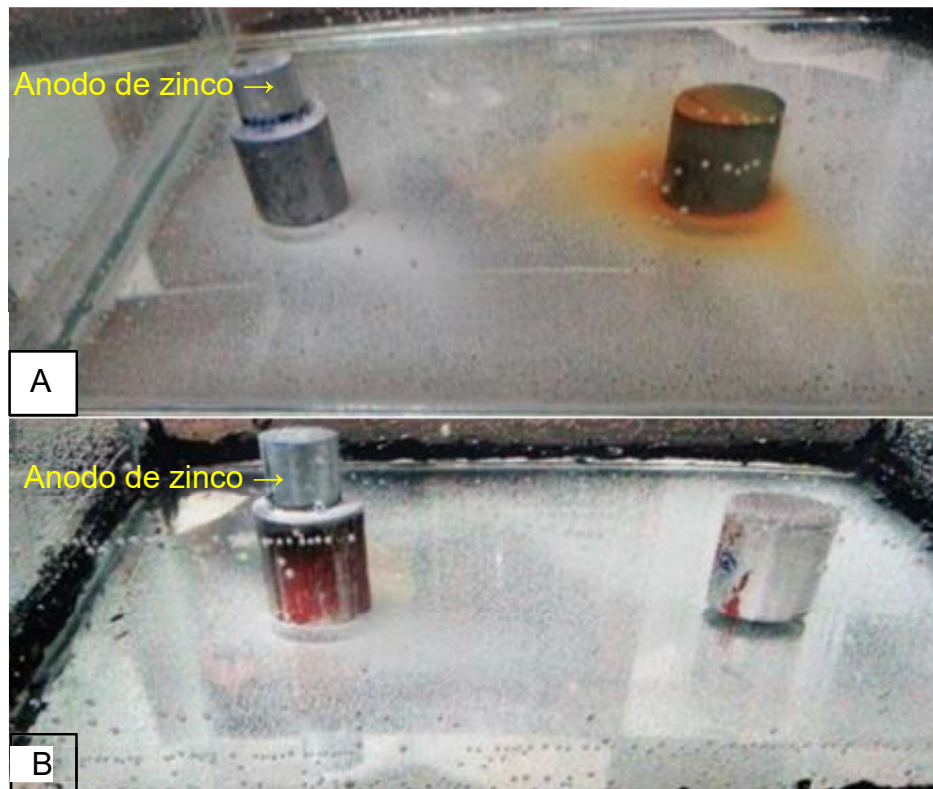


Figura 3 – Corpos-de-prova submersos

(A) Aço CA 40 (B) Aço AISI 304

Fonte: Autor

Durante todo o período de ensaio, que teve duração de 96 horas, todos os quatro corpos-de-prova e os dois anodos foram mantidos submersos no meio corrosivo, conforme a figura 3, sendo a solução trocada apenas uma vez, após 48 horas de submersão, para evitar o decaimento do pH do líquido.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras foram analisadas utilizando microscópio óptico e inspeção visuais. As imagens coletadas durante a realização do teste foram comparadas. Na figura 4, nas amostras do aço CA 40, observa-se a diferença de antes do início e após o término do teste que durou 96 horas.

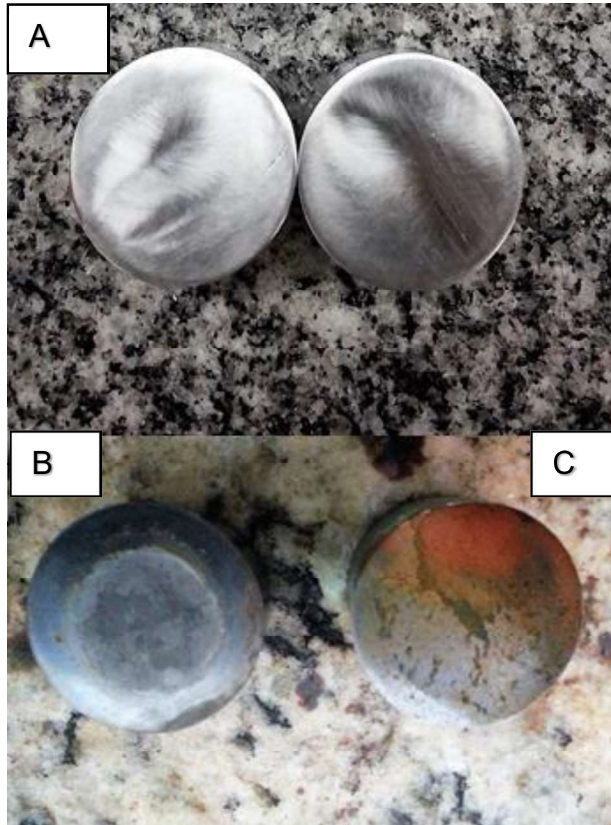


Figura 4 – Corpos-de-prova do aço CA 40

(A) Aço antes da submersão (B) Aço submetido a proteção catódica após 96 horas (C) Aço sem proteção após 96 horas

Fonte: Autor

É possível analisar os efeitos da proteção catódica, observa-se que o corpo-de-prova B que possuía o anodo de zinco fixado, apresentou uma corrosão mínima enquanto que na amostra C, sem o anodo, a superfície está totalmente corroída. Na figura 5, foi realizada a comparação com as amostras do aço inox AISI 304.

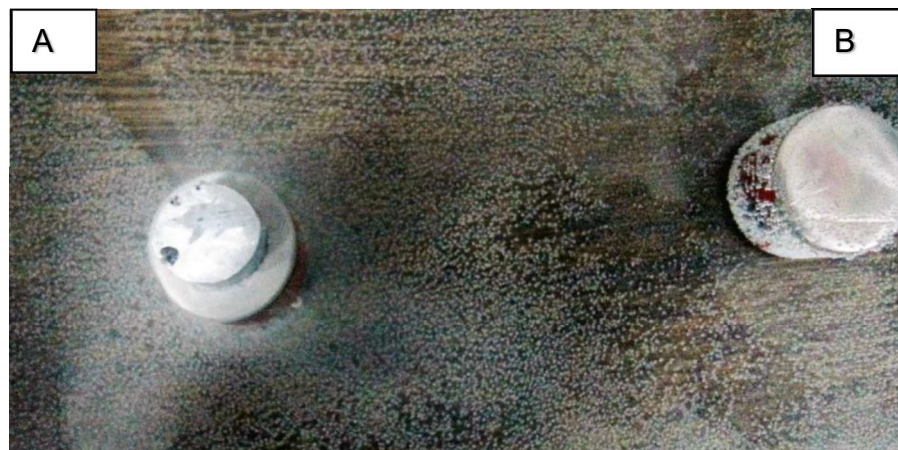


Figura 5 – Coloração da água envolvendo o aço inoxidável AISI 304 após 96 horas de submersão

Fonte: Autor

É possível perceber que, se comparado ao aço CA 40, os resultados visuais do aço inoxidável AISI 304 são mais difíceis de serem percebidos, principalmente na amostra B, isso ocorre devido à alta resistência a corrosão, que é uma propriedade característica dos aços inoxidáveis.

Observa-se, porém, que após 96 horas de submersão, a água que envolve o corpo-de-prova A, com anodo de zinco anexado, obtém uma coloração esbranquiçada, resultado da oxidação do zinco, conforme a figura 5. Embora esse efeito na água também seja visível no teste do aço CA 40, ele indica que o zinco sofreu corrosão em ambos os aços, sendo assim, o zinco também apresentou seu papel de anodo no aço AISI 304.

De maneira geral, mesmo não sendo eficaz como para o aço CA 40, a proteção catódica pelo zinco também ocorreu no aço inox AISI 304, em uma menor concentração.

Os anodos de sacrifício de zinco também foram analisados visualmente durante toda a evolução do teste realizado. A figura 6 demonstra os efeitos do meio corrosivo em sua superfície após 96 horas de submersão.

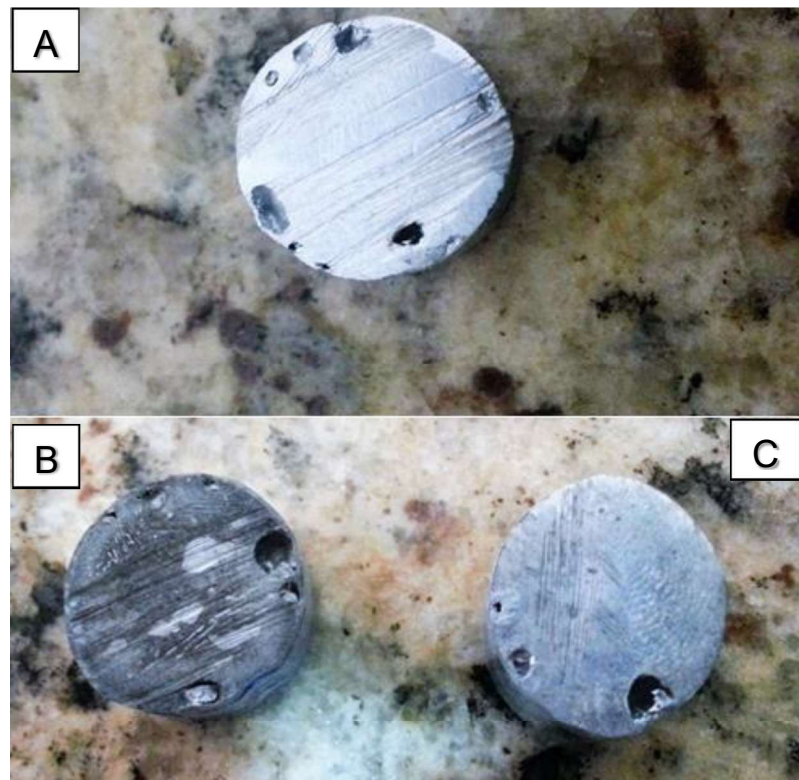


Figura 6 – Efeitos corrosivos nos anodos de sacrifício de zinco após 96 horas

(A) zinco antes da submersão; (B) zinco como anodo do aço CA 40 (C) zinco como anodo do aço AISI 304

Fonte: Autor

A figura 6 mostra detalhadamente a ação corrosiva do meio sobre o zinco, na amostra B, o anodo foi utilizado na proteção catódica do aço CA 40, percebe-se que exatamente neste anodo ocorreu um processo corrosivo mais intenso, enquanto a amostra C apresentou uma corrosão de menor intensidade.

De forma geral, conclui-se que o aço CA 40, sem revestimento, necessitou de maior eficiência da proteção catódica realizada pelo zinco em comparação ao aço inox AISI 304, sendo esse muito mais resistente aos efeitos da corrosão. Percebe-se ainda que a durabilidade do anodo está relacionada diretamente com a estrutura ou aço em que este está protegendo, quanto maior for a necessidade da eficácia da proteção catódica sobre a estrutura, maior será os efeitos de desgaste por corrosão.

ANÁLISE POR MICROSCOPIA ÓPTICA

Na figura 7, as amostras de aço e zinco foram analisadas utilizando a técnica de microscopia óptica antes de serem expostas ao teste de corrosão e proteção catódica por anodo de sacrifício.

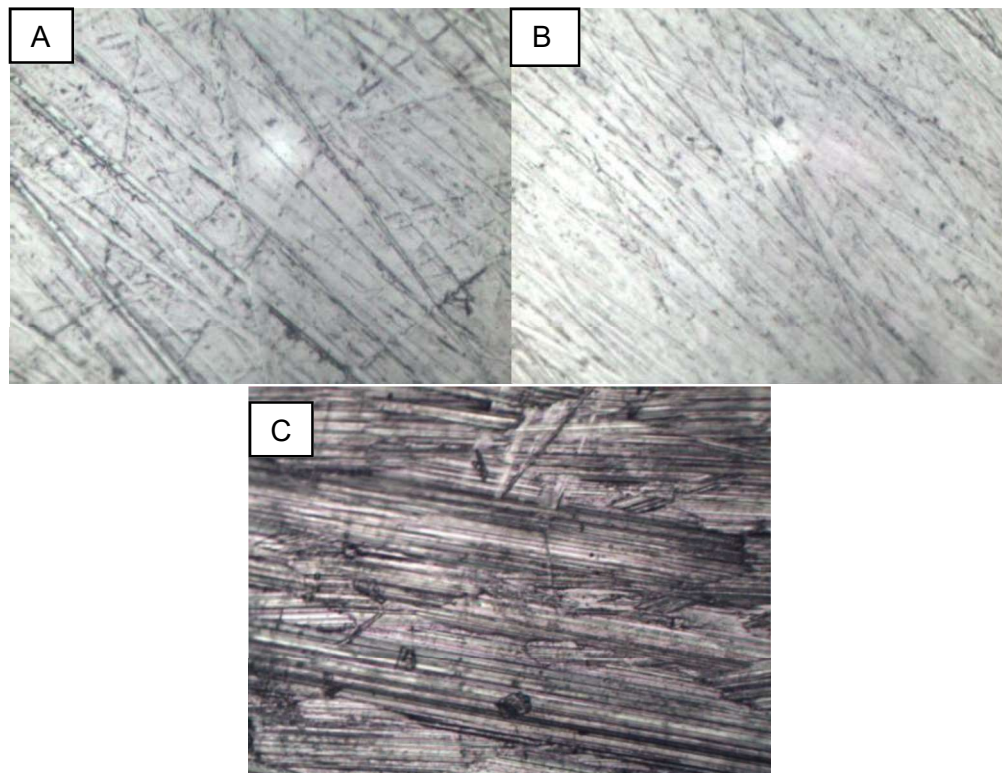


Figura 7 – Microscopia óptica das amostras antes da submersão. Ampliação de 80x

(A) Aço CA 40; (B) Aço inoxidável AISI 304; (C) Anodo de zinco

Fonte: Autor

A análise mostrou que os corpos-de-prova possuíam falhas decorrentes da própria estrutura do material, resistentes aos processos de lixamento e limpeza utilizados inicialmente. Analisando a figura 8, é possível observar detalhadamente os danos que os eletrólitos causaram ao aço CA 40.

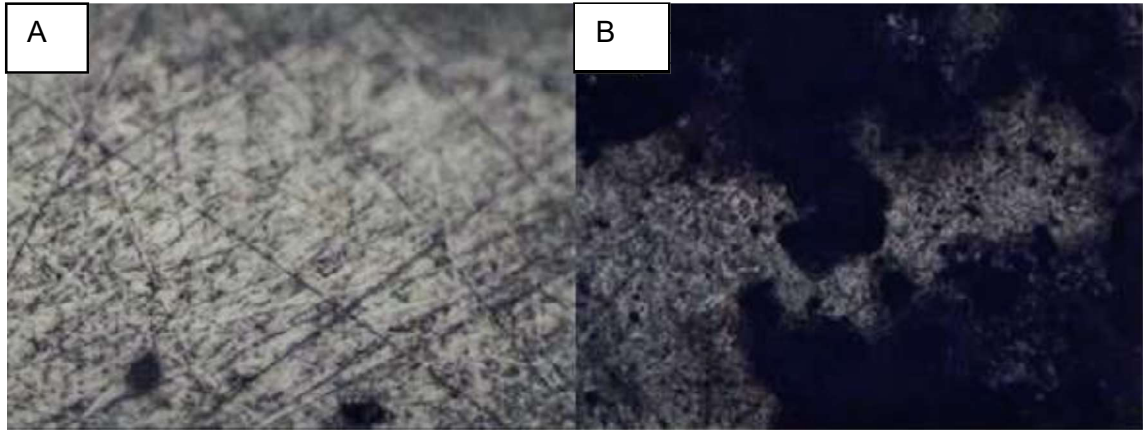


Figura 8 – Microscopia óptica do aço CA 40. Ampliação de 80x

(A) Aço CA 40 sob proteção catódica por anodo de zinco; (B) aço CA 40 sem proteção

Fonte: Autor

Percebe-se também a eficácia da proteção catódica realizada pelo zinco na imagem A, quando comparada a imagem B, respectiva ao corpo-de-prova sem proteção. Na figura 9 observa-se os efeitos da submersão no meio corrosivo nas amostras de aço inoxidável AISI 304.

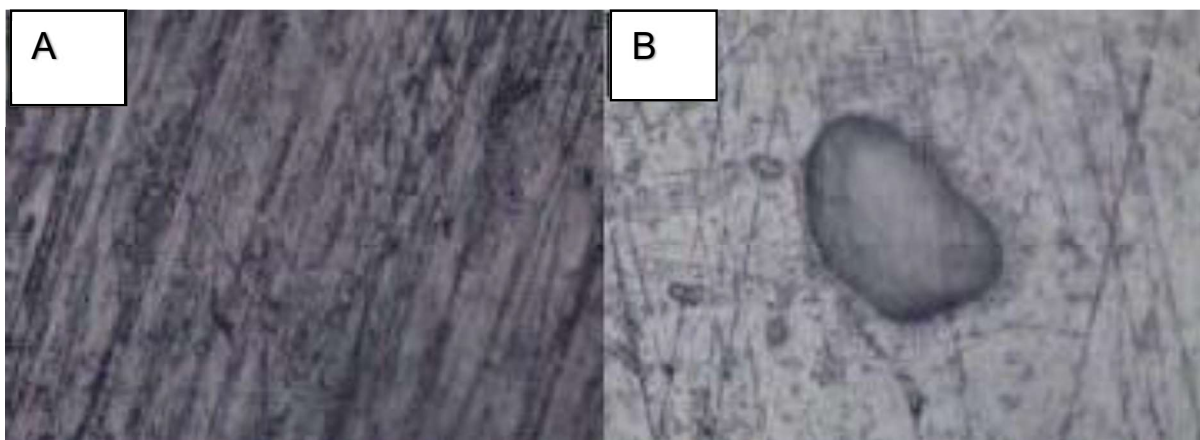


Figura 9 – Microscopia óptica do aço inoxidável AISI 304. Ampliação de 80x

(A) Aço inox AISI 304 sob proteção catódica por anodo de zinco; (B) Aço inox AISI 304 sem proteção

Fonte: Autor

Se comparadas as imagens da figura 9 com as imagens da figura 8, vê-se um ataque corrosivo menos eficaz sob a superfície do aço inoxidável.

Percebe-se também na imagem A da figura 9 referente ao aço AISI 304, na amostra mantida sobre proteção catódica, a ausência de corrosão, enquanto na imagem B, correspondente ao corpo-de-prova sem proteção catódica por anodo, o surgimento de pontos de corrosão, ou seja, denominada corrosão por pites.

A figura 10 mostra a evolução da corrosão nos anodos de zinco que realizaram a proteção catódica dos aços após 96 horas.

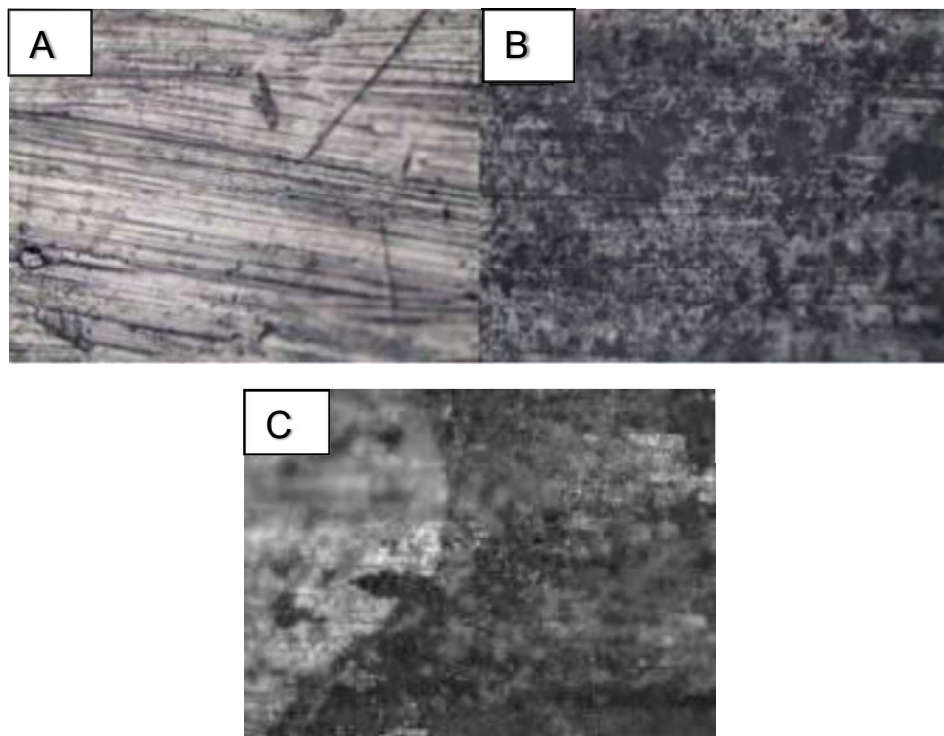


Figura 10 – Evolução corrosiva do zinco. Ampliação de 40x

(A) Zinco antes da submersão; (B) Anodo de proteção do aço inox AISI 304 após 96 horas; (C) Anodo de proteção do aço CA 40 após 96 horas

Fonte: Autor

Assim como na análise visual, é possível observar que a gravidade do ataque corrosivo nos anodos de zinco evolui de acordo com o nível de proteção em que ele é submetido. Por ser correspondente ao aço inoxidável AISI 304, o anodo da imagem B sofreu um processo corrosivo menos intenso, consequência da resistência a oxidação, diferentemente da imagem C, em que o anodo realizou a proteção no aço CA 40, sujeito a um forte ataque corrosivo e maior perda de massa.

Na figura 11 é feita uma comparação microscopia sobre os efeitos da corrosão na estrutura do aço CA 40.

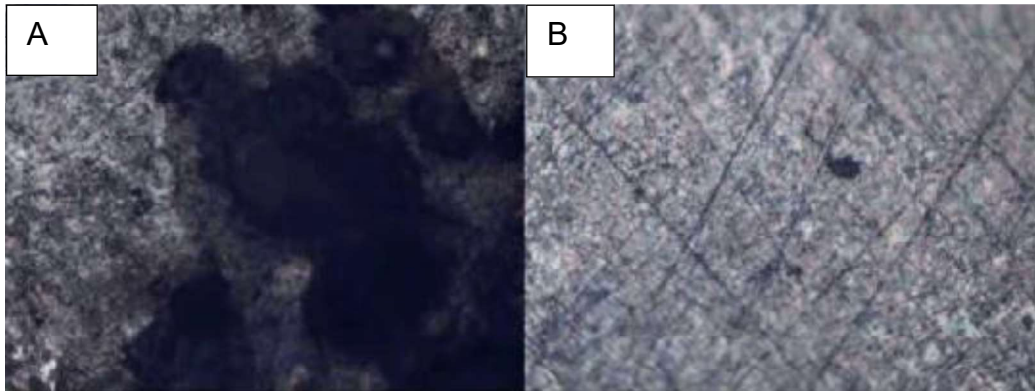


Figura 11 – Comparações do aço CA 40

(A) Microscopia do aço CA 40 sem anodo. Ampliação de 40x; (B) Microscopia do aço CA 40 com anodo. Ampliação de 40x
Fonte: Autor

Na imagem A é visível o ataque corrosivo após 96 horas de submersão com aumento da superfície superior em 40x nesse instante. A imagem B tem o mesmo objetivo, porém, nessa é possível observar os efeitos da proteção catódica galvânica no corpo-de-prova do aço CA 40 após 96 horas imerso no meio corrosivo.

As amostras de aço inoxidável AISI 304 também passaram por comparações após o fim do teste realizado, A figura 12 ilustra a comparação microscópica do corpo-de-prova desse aço após 96 horas submerso.

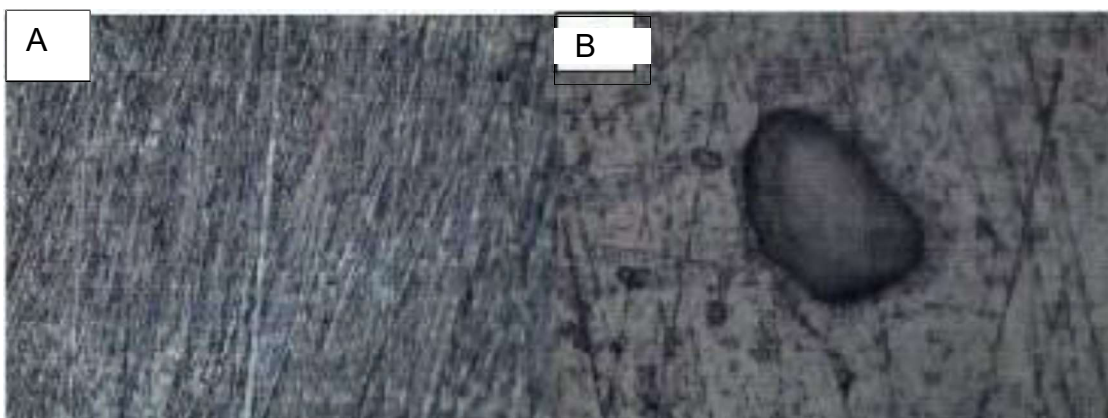


Figura 12 – Comparações do aço AISI 304.

(A) Aço inox 304 protegido após 96 horas. Microscopia de superfície. Ampliação de 40x; (B) Aço inox 304 sem proteção após 96 horas. Microscopia da superfície. Ampliação de 80x

Fonte: Autor

Na imagem A percebe-se a ausência de corrosão no aço que foi protegido pelo anodo de zinco. Na imagem B, a comparação é realizada com o aço AISI 304 sem proteção catódica e também após 96 horas submerso.

Na imagem B da figura 12 é visível a corrosão localizada ou corrosão por pites sobre a superfície da amostra. O objetivo da ampliação de 80x sobre a superfície superior nesse corpo-de-prova é visualizar a corrosão presente nesse aço, algo que não estava sendo possível na ampliação de 40x.

CONCLUSÃO

O aço inoxidável AISI 304 demonstrou uma boa resistência corrosiva, interferindo na obtenção e demonstração dos resultados da proteção catódica sobre este material. O estudo mostrou que o aço inoxidável não está livre de sofrer oxidação e que a proteção catódica por anodos também é eficiente neste material. A corrosão do anodo de zinco foi menor em relação ao anodo utilizado no aço carbono CA 40.

O uso da proteção catódica no aço carbono CA 40, principal matéria prima das armaduras metálicas de concreto armado, mostrou-se eficiente na proteção contra corrosão, inibindo e transferindo a corrosão para o anodo de zinco e protegendo o aço. A solução mostrou-se eficiente como acelerador corrosivo, a amostra sem proteção sofreu com a agressividade do meio, e o aço demonstrou sua pouca resistência a corrosão durante o estudo.

A análise de microestruturas enfatizou os resultados visuais, mostrou a gravidade da corrosão na superfície de estudo do aço sem a proteção catódica enquanto que o aço protegido pelo anodo de zinco, apresentou uma superfície livre de oxidação.

REFERÊNCIAS

DIAS, Gabriel Pieta. **Avaliação da Tenacidade à Fratura de um Aço Inoxidável Supermartensítico Submetido à Proteção Catódica em Água do Mar.** 2009.

103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

IMBILINOX, **Ligas fundidas – CA 40.** Disponível em:

<<http://www.imbilinox.com.br/Imbilinox/Portugues/detLiga.php>>. Acesso em: 03 de mar. 2021.

FAVORIT, **Aços inoxidáveis – AISI 304.** Disponível em: <<https://favorit.com.br/produtos/acos-inoxidaveis/aco-aisi-304-aisi-304->>. Acesso em: 02 de mar. 2021.

GALVÃO, Mariana Machado. **Efeito da Proteção Catódica na Corrosão Microbiologicamente Induzida.** 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 345 p.

GUEDES, F. N. de J; MONNERAT, C. S. **Avaliação da resistência à corrosão no aço SAE 1045 devido aos tratamentos térmicos.** Revista Engenharia de Interesse Social, UEMG, Universidade do Estado de Minas Gerais, Vol. 1, n. 02, p. 1-9, 2017.

LOUREIRO, Aline Marta V. **Estudo da Corrosão de Dutos Enterrados em Solos Contaminados por Substâncias Químicas.** 2005. 135p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, Eudes Martins. **Utilização da proteção catódica para sistemas de dutos e/ou torres de transmissão mediante geração fotovoltaica.** 2008. 127p. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares) Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

RODRIGUES, Tatiana Campos. **Efeito do Potencial de Proteção Catódica Sobre a Biorrosão de Aço-Carbono em Solo Contendo BRS.** 2010. 145 p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, Cláudia Beatriz. **Caracterização da resistência a corrosão de camadas obtidas por nitretação a plasma e deposição física de vapor sobre aço inoxidável AISI 316.** 2002. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Departamento de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2002.

SARTORI, Marcelo. **Avaliação da Tenacidade à Fratura da Liga Inconel 718 sob Proteção Catódica Em Água do Mar Sintética Utilizando a Técnica *Step Loading*.** 2014. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2014.

SILVA, Sabrina Neves D. **Estudo da Corrosão no Solo de Aços Para Dutos Protegidos Catódicamente.** 2007. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2007.