

ANÁLISE DOS EFEITOS DE CORROSÃO SOB CHAPAS DE AÇO-CARBONO 1020 CAUSADAS POR AEROSSOL MARINHO E POLUIÇÃO: UM ESTUDO COMPARATIVO EM CHAPAS EXPOSTAS AO AMBIENTE E EM SIMULAÇÃO DE DUTOS SUBTERRÂNEOS

Arthur K. Nocera^{a, ID}, Guilherme S. Souza^{a, ID}, Mateus B. de Almeida^{a, ID}, Matheus S. e Santos^{a,*, ID}, Noemi L. Gil^{a, ID} e Thaís Corrêa^b

^aEtec Praia Grande, 11702-210 Praia Grande – SP, Brasil

^bInstituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN), 05508-000 São Paulo – SP, Brasil

Recebido: 10/10/2023; aceito: 27/08/2024; publicado online: 12/11/2024

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF CORROSION UNDER 1020 CARBON-STEEL PLATES CAUSED BY SEA AIR AND POLLUTION: A COMPARATIVE STUDY IN PLATES EXPOSED TO THE ENVIRONMENT AND IN SIMULATION OF UNDERGROUND DUCTS. This work aims to analyze the effects of corrosion in different municipalities through the exposure of 1020 carbon-steel plates to the atmosphere and buried in soil. Sea air and pollution were treated as major corrosion agents and zinc has been tested to prove its effectiveness as a sacrificial anode. For this analysis, weighing and spectrophotometric methods were used to determine the iron mass loss after five months of exposure. From the data obtained, corrosion rates were calculated and compared based on different regional conditions. The results showed that the coastal region of the state of São Paulo presented higher corrosion rates compared to places of higher altitudes and further away from the sea, indicating that sea air and pollution are important agents in catalyzing the deterioration processes. In addition, zinc was efficient as a sacrificial anode, demonstrating its potential application as corrosion protection in 1020 carbon-steel plates.

Keywords: 1020 carbon-steel; corrosion; pollution; sacrificial anode; sea air.

INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo espontâneo que pode ser definido pela deterioração de materiais que apresentam características metálicas. Essa reação ocorre por ação química ou eletroquímica do meio ambiente. A deterioração de um material é causada pela interação físico-química com o meio ao qual representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofrendo desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando incapaz sua utilização.¹

Diversos mecanismos são responsáveis pelo fenômeno de corrosão, envolvendo processos distintos pelos quais a degradação pode ocorrer. Entre estes, destaca-se o mecanismo eletroquímico, que se baseia na transferência de carga ou elétron através de uma interface ou eletrólito, como ocorre na corrosão de metais imersos em soluções contendo eletrólitos, como o cloreto de sódio presente no *spray* marinho. O mecanismo químico, por sua vez, depende de reações químicas diretas entre o metal e o meio corrosivo, sem a geração de corrente elétrica, diferenciando-se assim do mecanismo eletroquímico.^{1,2}

Já quando enterrado, o metal entra em contato não somente com o conteúdo e minérios do solo, como também uma combinação de gases e líquidos que se depositam entre os grãos, influenciando na corrosão, dependendo de características como a concentração de determinadas substâncias, além da pressão do solo.^{3,4}

Em ambientes marinhos, o *spray* marinho, ou maresia, possui a capacidade de, junto com a umidade, formar células galvânicas quando em contato com a superfície metálica, promovendo então a corrosão do metal pela formação de um filme de eletrólito em sua superfície.²

O termo material particulado refere-se a substâncias muito finas de sólidos ou líquidos suspensos no ar, tal como ocorre com aerossóis.

Esse material pode ser encontrado de diversas formas. Em indústrias, a atmosfera carrega partículas de componentes de carbono, óxidos de metais e sais.¹

Na corrosão, o material particulado pode ter grande influência no processo corrosivo, na medida que, ao entrarem em contato com superfícies metálicas, possuem capacidade de alterá-las. Outros elementos que possuem papéis fundamentais nos mecanismos de corrosão eletroquímica são os sais e outras partículas eletrolíticas.¹

Colocando em perspectiva os danos causados pela corrosão em regiões litorâneas em comparação com regiões distantes do mar, a vida útil média, por exemplo, de um poste de energia se encontra na faixa de 20 a 30 anos, porém, no litoral, esse tempo diminui, se tornando cerca de 5 anos.⁵ As perdas econômicas são grandes, pois em países industrializados é gasto de 1,5 a 3,5% do produto interno bruto (PIB) em prejuízos causados pela corrosão.⁶ No Brasil, o custo anual estimado para manutenção de danos causados por processos corrosivos é de cerca de 15 bilhões de dólares. É previsto que uma economia de aproximadamente 5 bilhões de dólares poderia ser alcançada por meio da implementação de métodos preventivos e de controle.⁷

Para o estudo da oxidação, é possível considerar dois fatores principais: a poluição e a maresia. A poluição pode ser caracterizada como uma perturbação ecológica que resulta de atividades humanas, afetando direta ou indiretamente a vida, o bem-estar e o meio ambiente.⁵ A maresia, por sua vez, consiste em uma névoa fina e úmida contendo sais, como cloreto de magnésio e de sódio, bem como gotículas de água dispersas no ar.⁸

As questões associadas aos processos corrosivos são frequentes e podem ocorrer em diversas atividades, incluindo indústrias químicas, petrolíferas e petroquímicas. Além de afetar setores industriais, esses processos também impactam a vida cotidiana, como evidenciado pela oxidação de fogões, geladeiras e outros eletrodomésticos.

O trabalho permite, a partir de testes e pesquisas, explicar os problemas da corrosão provocados pela ação da maresia e poluição

*e-mail: contatamatheusantos1@gmail.com

Editor Associado responsável pelo artigo: Lucia Mascaro

em três municípios, além de determinar a eficácia de ânodos de sacrifícios como método preventivo de corrosão.

A pesquisa trabalhou com aço carbono 1020, que, segundo a ABNT/CB-28, citada por Medeiros,⁹ é caracterizado pela presença de ferro e 0,20% de carbono em sua composição. Para a metodologia, utilizou-se métodos de pesagem, durante o início e o final da análise, e espectrofotometria UV-Vis para analisar as perdas de massa.

O objetivo deste trabalho é comparar os efeitos da corrosão em três municípios, sendo eles, Cubatão, Praia Grande e São Paulo, utilizando placas de aço-carbono 1020 com e sem proteção anódica, as quais serão expostas à atmosfera e enterradas, simulando dutos subterrâneos, visando estudar a maresia e a poluição como catalisadores da corrosão do aço-carbono e a eficácia da proteção anódica.

PARTE EXPERIMENTAL

Instrumentação

Para a pesagem das chapas de aço-carbono 1020, foi utilizada uma balança semi-analítica modelo BEL M214Ai.

A análise das soluções de tiocianato de ferro foi realizada em um espectrofotômetro modelo NOVA 1600 UV, de sistema de feixe simples com capacidade de medir comprimentos de onda entre 190 e 1100 nm.

Materiais e reagentes

Utilizou-se chapas de aço-carbono 1020 de medidas de 8,8 cm de diâmetro e 2 mm de espessura e ânodos de sacrifício de zinco com 3 cm de comprimento, 5 cm de largura e 1 mm de espessura.

A conexão entre o ânodo e a placa foi estabelecida posicionando o ânodo na superfície superior da placa sendo que a corrente elétrica é formada pelo contato direto entre o ânodo e o metal a ser protegido.¹⁰

Na análise espectrofotométrica dos íons férricos nas amostras, foram utilizados os seguintes reagentes: tiocianato de potássio (KSCN), ácido clorídrico (HCl), cloreto de ferro III (FeCl₃) e água deionizada.

Organização das chapas de aço-carbono 1020

Com base no estudo comparativo de corrosão de metais em condições salinas de Suski *et al.*⁶ foi escolhido, para a condução dos experimentos, o aço-carbono 1020 por sua alta suscetibilidade a corrosão.

Segundo a norma ABNT/CB-28, citada por Medeiros,⁹ os dois primeiros algarismos determinam a classe do aço e os dois últimos estabelecem a média do teor de carbono presente multiplicada por 100. Ao utilizar a classificação "1020" para o aço-carbono, explicita-se as seguintes características: 10XX (indicando ser um aço-carbono) e XX20 (indicando 0,20% de carbono em sua composição).⁹

Após a pesagem, as chapas foram numeradas e separadas para a montagem da simulação de dutos subterrâneos e anexação dos ânodos de sacrifício. Tendo como referência a simulação de Castro,¹¹ foi projetado um sistema consistido de um conjunto de recipientes plásticos com orifícios em sua base para vazão de água, preenchidos de cascalho na primeira camada e, por conseguinte, terra até sua posição superior, sendo essa a porção em que as chapas ficaram contidas.

O estudo envolveu a exposição de placas ao meio ambiente em duas configurações diferentes para cada uma das cidades avaliadas. Para isso, utilizou-se uma placa em contato com o ânodo de sacrifício

e uma placa livre de ânodo. Nos casos em que houve a aplicação de ânodo de sacrifício, bastou o contato físico entre o aço e o zinco. Essas duas configurações foram realizadas em duas maneiras de simulação, tanto em placas expostas ao ambiente quanto em placas enterradas em sistemas simuladores de dutos subterrâneos. Em ambas as configurações a placa foi posicionada paralelamente ao chão, como exemplificado na Figura 1.



Figura 1. Configuração das chapas de aço-carbono em simulação de dutos subterrâneos e expostas ao ambiente na cidade de Cubatão. Essa configuração repete-se em Praia Grande e São Paulo

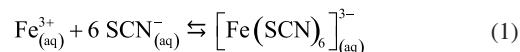
Análise espectrofotométrica

Para a determinação de ferro nas chapas de aço-carbono 1020, realiza-se a análise espectrofotométrica, baseando-se nas metodologias de Adams¹² e Skoog *et al.*¹³

Para a preparação da solução destinada à quantificação de Fe³⁺ nas chapas, deve-se iniciar o procedimento separando béqueres contendo soluções de ácido clorídrico 0,1 molar.

Para cada chapa, ambas as faces são raspadas e as raspas são transferidas para béqueres exclusivos para cada chapa, contendo 80 mL de solução de HCl. O material é agitado para promover a dissolução dos sólidos e a solução resultante é filtrada utilizando-se funil e papel filtro. Em seguida, as soluções são transferidas para balões volumétricos de 100 mL e completa-se o menisco com solução de KSCN 0,1 molar. A solução final é colocada em uma cubeta e levada ao espectrofotômetro, sendo realizadas as análises em triplicata para cada amostra.^{12,13}

Com a adição do tiocianato de potássio, a solução, até então incolor, deverá se alterar para tons avermelhados ou amarronzados devido ao deslocamento da seguinte reação para a direita, como demonstrado na Equação 1, quando em excesso de íon tiocianato, promovendo a formação de tiocianato de ferro III, substância essa que será lida no espectrofotômetro.¹²



A varredura foi feita entre 400 e 500 nm, faixa de comprimento de onda determinada pelos autores com base nos estudos de Adams,¹² utilizando cloreto férrico (FeCl₃), concluindo-se que a melhor faixa de nanômetros seria a de 440.

Posteriormente, a curva de calibração foi realizada a partir dos padrões de 12, 14, 16, 18, 20 e 22 mg L⁻¹, as quais foram medidas no espectrofotômetro a um comprimento de onda de 440 nm. Com esses dados, é possível construir um gráfico de absorvância em função da concentração e traçar uma linha de tendência. A partir dessa linha de tendência, é possível determinar a concentração de Fe³⁺ nas amostras desconhecidas medindo sua absorvância e utilizando a equação da linha de tendência para calcular sua concentração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados

Após 5 meses de análise, foi possível visualizar diferenças em relação à aparência e textura, destacando-se a formação de uma camada de ferrugem em seu exterior, como indicado nas Figuras 2, 3 e 4.

Além da comprovação visual de corrosão, determinou-se a perda de massa de todas as chapas de aço-carbono 1020 a partir do método de pesagem. As Figuras 5, 6 e 7 demonstram os gráficos comparativos apresentando a perda de massa após análise.

A perda superior de massa na chapa enterrada com ânodo em Praia Grande e ambas as chapas com ânodo em São Paulo, quando em comparação com suas respectivas contrapartes sem ânodo, serão analisadas na discussão.

Para obtenção desses resultados em g m^{-2} , realiza-se a seguinte equação:

$$P_m = \frac{M_i - M_f}{S} \quad (2)$$

onde P_m é perda de massa por g m^{-2} , M_i é a massa inicial do objeto, M_f é a massa final do objeto e S é a área do objeto, sendo essa, no caso das chapas, $0,006082 \text{ m}^2$.

Ainda buscando confirmar o fator mais influente no processo corrosivo, foi efetuada uma análise espectrofotométrica. A varredura foi realizada utilizando o cloreto férrico (FeCl_3) como padrão externo, e concluiu-se que o melhor comprimento de onda seria o de 440 nm .

Obtém-se então, a partir do gráfico da Figura 8, a seguinte equação da reta:



Figura 2. Chapas expostas e enterradas em Cubatão. A imagem à esquerda retrata as chapas ao começo do experimento e as imagens do centro e à direita retratam o final do experimento



Figura 3. Chapas expostas e enterradas em Praia Grande. A imagem à esquerda retrata as chapas ao começo do experimento e a direita retratam o final do experimento



Figura 4. Chapas expostas e enterradas em São Paulo. A imagem à esquerda retrata as chapas ao começo do experimento e as imagens do centro e à direita retratam o final do experimento

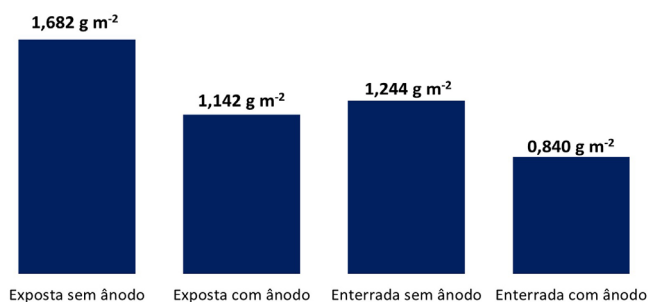


Figura 5. Gráfico de perda de massa das chapas em g m⁻² na cidade de Cubatão

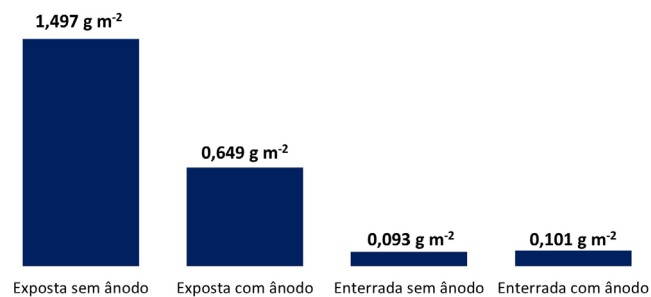


Figura 6. Gráfico de perda de massa das chapas em g m⁻² na cidade de Praia Grande

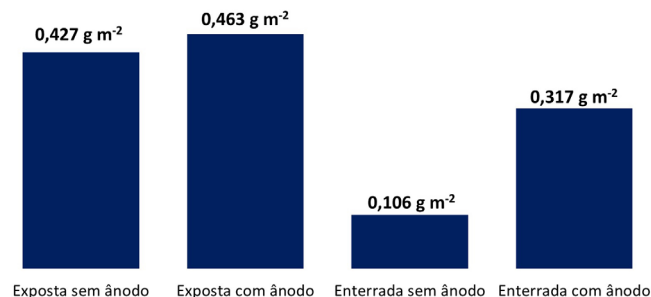


Figura 7. Gráfico de perda de massa das chapas em g m⁻² na cidade de São Paulo

$$y = 0,0072x + 0,025 \quad (3)$$

O coeficiente de correlação (r^2) é de 0,9832.

Tendo ciência da equação dada pela curva de calibração presente na Figura 8, calculou-se as concentrações em mg L⁻¹ de cada uma das chapas utilizando a Equação 3, obtendo os resultados da Tabela 1.

Percebe-se que não foi possível quantificar a concentração de

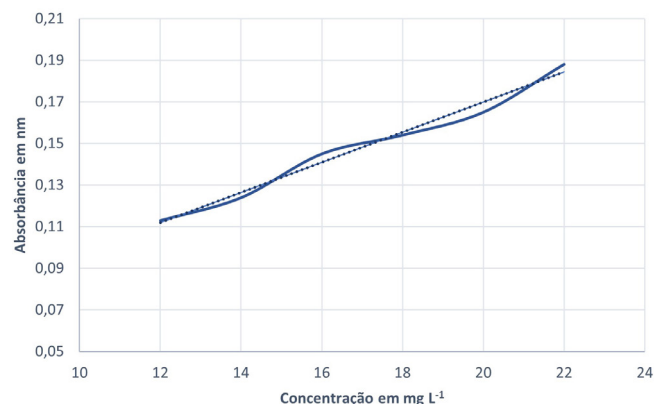


Figura 8. Curva de calibração feita a partir dos padrões de 12, 14, 16, 18, 20 e 22 mg L⁻¹, sendo a linha pontilhada como linha de tendência

Tabela 1. Concentrações das chapas com e sem ânodos dos municípios de Cubatão, Praia Grande e São Paulo

Chapa	Concentração / (mg L ⁻¹)		
	Cubatão	Praia Grande	São Paulo
Exposta sem ânodo	55,185	56,389	46,296
Exposta com ânodo	46,620	47,222	37,315
Enterrada sem ânodo	92,870	–	10
Enterrada com ânodo	62,639	–	–

ferro em algumas chapas, o motivo será abordado posteriormente na discussão.

Para determinar o quanto as placas foram corroídas além do método de pesagem e espectrofotometria, realizou-se o cálculo de taxa de corrosão, baseando-se em informações disponibilizadas pela NACE International,¹⁴ através da seguinte equação:

$$Tc = \frac{K \times \Delta Mc}{A \times t \times r} \quad (4)$$

onde Tc é a taxa de corrosão expressa em mm ano⁻¹, K é o fator de conversão para mm ano⁻¹, ou seja, $8,76 \times 10^4$; ΔMc é a perda de massa; A é a área em cm² da chapa em análise; t é o tempo de ensaio em h; e r a massa específica do material, no caso do aço-carbono, é igual a 7,86 g cm⁻³.

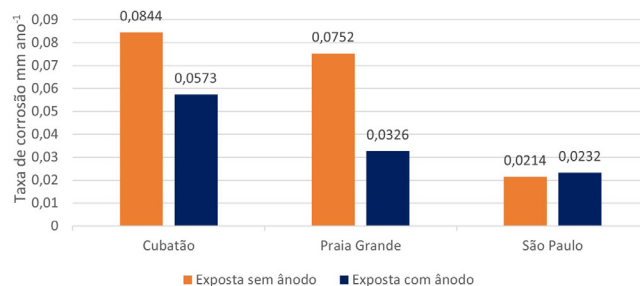


Figura 9. Gráfico comparativo entre as taxas de corrosão em mm ano⁻¹ das chapas expostas sem ânodo e com ânodo nas cidades de Cubatão, Praia Grande e São Paulo respectivamente

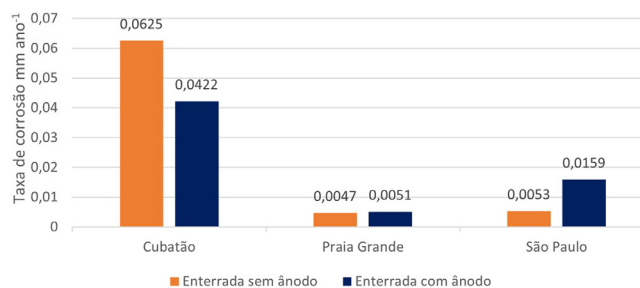


Figura 10. Gráfico comparativo entre as taxas de corrosão em mm ano⁻¹ das chapas enterradas sem ânodo e com ânodo nas cidades de Cubatão, Praia Grande e São Paulo respectivamente

Ao realizar os cálculos, através da Equação 4, para cada uma das chapas, adquiriu-se os valores apresentados nas Figuras 9 e 10.

Dessa forma, utilizando os dados apresentados nas Figuras 9 e 10, realizou-se as médias para cada um dos municípios a fim de obter os resultados apresentados na Tabela 2.

DISCUSSÃO

O processo corrosivo é variável dependendo do meio em que está

Tabela 2. Tabela das médias de taxa de corrosão em mm ano⁻¹ para os municípios de Cubatão, Praia Grande e São Paulo

Cubatão	Praia Grande	São Paulo
0,0616 mm ano ⁻¹	0,0294 mm ano ⁻¹	0,0164 mm ano ⁻¹

sofrendo a corrosão, dos compostos que a causam e as características únicas do metal. Sendo assim, a velocidade e a gravidade da corrosão tendem a mudar por fatores diretos, como poluentes e a maior umidade do ar, como ocorre em São Paulo e Cubatão, ou fatores indiretos, como a maresia, que, como já explicado, movimentam grandes quantias de cloreto de sódio, facilitando o processo corrosivo, como ocorre em Praia Grande e Cubatão.¹⁵

Com base nos dados disponibilizados pela NACE International,¹⁴ a taxa de corrosão é considerada baixa quando o valor é menor que 0,025 mm ano⁻¹. Caso o valor esteja entre 0,025 e 0,125, a taxa de corrosão é considerada moderada e, por fim, caso o valor esteja acima de 0,125, a taxa de corrosão é considerada elevada.

A partir dos dados obtidos através da Equação 4 e apresentados nas Figuras 9 e 10, obtém-se a Tabela 3.

Tabela 3. Classificação da taxa de corrosão das chapas expostas e enterradas dos municípios de Cubatão, Praia Grande e São Paulo

Chapa	Cubatão	Praia Grande	São Paulo
Exposta sem ânodo	moderada	moderada	baixo
Exposta com ânodo	moderada	moderada	baixo
Enterrada sem ânodo	moderada	baixo	baixo
Enterrada com ânodo	moderada	baixo	baixo

Nota-se que a corrosão é mais grave nos municípios de Cubatão e Praia Grande quando comparadas com a corrosão sofrida em São Paulo. Segundo os estudos de Araújo e Silva,⁵ realizado no Maranhão, e de Luz,¹⁶ realizado em Santa Catarina, regiões litorâneas possuem taxas de corrosão superiores a locais de maiores altitudes independente da região do Brasil. Isso se dá pela presença de íons cloretos nas regiões litorâneas do país, advindos do mar.

Em nenhum caso notou-se uma redução significativa de taxa de corrosão devido à presença de ânodo, possivelmente por conta do tempo limitado de análise, que restringiu a perda de massa e o tempo de exposição em horas, ambas variáveis no cálculo da taxa de corrosão. Na espectrofotometria, entretanto, as chapas que possuíam ânodos demonstraram menor presença de Fe³⁺, indicando a efetividade do método protetivo.

Durante a pesagem e em análise aos valores de taxa de corrosão, as chapas expostas obtiveram maior perda de massa para todos os municípios.

Para Cubatão, contudo, na espectrofotometria, como demonstrado na Tabela 1, percebe-se maiores concentrações de ferro nas chapas enterradas. Especula-se que o ocorrido se dá pelo processo de lixiviação, o qual faria com que o ferro presente no solo se depositasse nas chapas, sendo exposto ao mesmo processo de análise e, conseqüentemente, alterando o resultado da espectrofotometria.¹⁷ Reforça-se que esse processo não alteraria na análise da perda de massa pelo método de pesagem, visto que as chapas foram pesadas após o lixamento, o que retiraria o ferro proveniente do solo.

Ainda analisando a Tabela 1, não foi possível quantificar a concentração de ferro nas chapas enterradas de Praia Grande e a enterrada com ânodo em São Paulo, devido a uma quantidade insignificante de Fe³⁺ nas soluções.

No caso de Praia Grande, isso pode ser justificado pela taxa de

corrosão ínfima, de 0,0047 e 0,0051 mm ano⁻¹ para a chapa sem e com ânodo, respectivamente. Para a formação de Fe³⁺ é necessário que ocorra antes a formação de Fe²⁺, íon inquantificável na metodologia utilizada. Portanto, é possível que a quantidade de massa perdida durante o processo corrosivo das chapas em questão tenha sido majoritariamente na forma de Fe²⁺.¹

Já para a placa enterrada com ânodo em São Paulo, embora a perda de massa e a taxa de corrosão tenham sido três vezes maiores que a da chapa sem ânodo, como demonstrado nas Figuras 7 e 10 respectivamente, não fora possível quantificar o ferro III pelo método espectrofotométrico, enquanto na chapa desprotegida foi possível quantificar 10 mg L⁻¹ de Fe³⁺, como indicado na Tabela 1. O fato aparenta ser contraditório, e pode ter ocorrido pela ausência de íons de ferro III na solução analisada por conta da interação entre o ferro e impurezas na água da chuva, como os sulfatos e ácidos advindos do enxofre, que promoveram a formação de sulfato de ferro básico (FeOH₂SO₄), um sal insolúvel em condições ambientes, incapacitando o ferro de interagir com os íons tiocianato. Com a presença de enxofre, a corrosão ocorre por pites, catalisando o processo e causando maiores estragos nas chapas.¹ Isso indicaria a maior perda de massa no processo corrosivo, fato observado na Figura 7, e a não leitura no método espectrofotométrico.

Retomando à análise de quais municípios obtiveram maiores índices de corrosão, Cubatão abriga indústrias de fertilizantes, de amônia e petrolíferas, como evidenciado pelo Centro de Integração e Desenvolvimento (CIDE),¹⁸ podendo relacionar a presença de ácido sulfuroso (H₂SO₃) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) advindos da poluição atmosférica, que são responsáveis por atacar materiais metálicos, como catalisadores do processo corrosivo.¹

Praia Grande, por outro lado, pode possuir grandes níveis de NaCl no ar, catalisando o processo corrosivo através dos efeitos dos aerossóis marinhos. Esses sais são responsáveis pela formação de pontes salinas, que catalisam o processo de oxirredução ao auxiliar a interação entre o metal e o oxigênio presente no ar, como Gentil¹ e Araújo e Silva⁵ explicam.

São Paulo, por sua vez, foi o município com menor teor de corrosão em ambos os aspectos – enterrado e exposto. Sabe-se que a poluição presente na cidade de São Paulo possui menores taxas em comparação com Cubatão, e a maresia é nula, visto que não é uma cidade costeira, diferentemente dos outros dois municípios.

Por fim, o zinco como ânodo de sacrifício mostrou-se eficiente a longo prazo, entretanto, as condições proporcionadas ao método protetivo e ao metal podem afetar diretamente sua eficácia. A proteção por ânodo é muito eficaz no geral, porém, combinar diferentes tipos de proteção oferta ainda mais resguardo em relação à deterioração de metais.¹⁹ Utilizar ânodos de sacrifício combinados com a pintura, por exemplo, garante diversas vantagens adicionais, como maior aplicabilidade, proporcionar acabamento decorativo, possibilitar a proteção de grandes estruturas, auxiliar na identificação, na facilidade de limpeza e na segurança, dentre outros.²⁰

CONCLUSÕES

Ao analisar a taxa média de corrosão de todas as chapas em cada município, conclui-se que Cubatão novamente se apresenta como cidade com maior taxa de corrosão, com média de 0,0616 mm ano⁻¹, seguido de Praia Grande com 0,0294 mm ano⁻¹ e, indicados pela Tabela 2, por último, São Paulo, com 0,0164 mm ano⁻¹.

Além disso, as Figuras 5, 6 e 7 também comprovam que a perda de massa foi superior nas cidades litorâneas. As chapas de Cubatão perderam, em média, 1,22 g m², enquanto as chapas de Praia Grande perderam, em média, 0,58 g m² e as de São Paulo perderam, também em média, 0,32 g m².

Na última metodologia, a espectrofotometria, a média de concentração de ferro para as chapas dos municípios de Cubatão, Praia Grande e São Paulo, foram, respectivamente: 64,33, 25,9 e 23,4 mg L⁻¹.

As três análises, portanto, demonstram que Cubatão foi a cidade com maior índice de corrosão, seguida de Praia Grande e, por fim, São Paulo.

Os objetivos do trabalho foram cumpridos com êxito, visto que fora possível quantificar e comparar com sucesso os efeitos corrosivos de acordo com os meios, simulando-os em condições similares aos usos na sociedade.

O método protetivo escolhido também se provou eficiente. Portanto, os dados obtidos agregam a comunidade científica para melhoria da integridade dos materiais e redução dos custos advindos da manutenção. Sobretudo, o estudo reforça a função fundamental que métodos protetivos possuem para a manutenção da integridade de estruturas metálicas, principalmente em ambientes com altos índices de poluição e regiões litorâneas, essas sendo mais propensas a sofrerem da oxidação catalisada pela maresia.

Cabe a estudos futuros abranger ainda mais comparativos entre a poluição e a maresia como catalisadores de corrosão, além de trazer conhecimentos que contribuam para a Região Metropolitana da Baixada Santista.

AGRADECIMENTOS

À instituição ETEC de Praia Grande por prover um ensino e formação de qualidade, e às nossas orientadoras T. Corrêa e N. Gil pela orientação, contribuição e confiança no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Gentil, V.; *Corrosão*, 6^a ed.; LTC: Rio de Janeiro, 2011.
2. Revie, R. W.; Uhlig, H. H.; *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*; John Wiley & Sons: New Jersey, 2008.
3. Burstein, G. T.; Shreir, L. L.; Jarman, R. A.; *Corrosion*, 2 volume set, 3rd ed.; Butterworth-Heinemann: Woburn, MA, USA, 1994.
4. Pires, D. R.; Júnior, N. S.; *Proteção Catódica: Uso no Concreto Armado*; Monografia, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil, 2018. [Link] acessado em outubro 2024.
5. de Araújo, A. L. R.; da Silva, N. S. S.; *Desenvolvimento de uma Câmara de Névoa Salina para Simulação e Análise da Ação da Maresia na Região Litorânea da Cidade de São Luís - Projeto de Viabilidade da Implementação do Primeiro Laboratório de Corrosão da Universidade Estadual do Maranhão*; Monografia, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, 2019. [Link] acessado em outubro 2024.
6. Suski, C. A.; *Revista Eletrônica Técnico-Científica do IFSC* **2018**, *1*, 29. [Link] acessado em outubro 2024
7. Brambilla, K. J. C.; *Investigação do Grau de Corrosividade sobre Materiais Metálicos das Redes Aéreas de Distribuição de Energia Elétrica (RD) da Região Metropolitana de Salvador - BA*; Dissertação de Mestrado, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2011. [Link] acessado em outubro 2024.
8. Nass, D. P. O.; *Revista Eletrônica de Ciências* **2002**.
9. Medeiros, G.; *Descrição dos Aços Segundo a sua Composição Química Norma ABNT/SAE*, <https://docente.ifsc.edu.br/gianpaulo.medeiros/MaterialDidatico/Ciencia%20dos%20Materiais%20para%20Eng.%20Elétrica/Aula%205%20-%20Caracterização%20dos%20Materiais%20Classificação%20dos%20Aços.pdf>, acessado em outubro 2024.
10. Castro, E. J.; Aguiar, L. M.; *Comissionamento e Condicionamento de Sistemas de Proteção Catódica em Dutos Submarinos*; Monografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2010. [Link] acessado em outubro 2024.
11. Castro, D. F.; *Estudo da Corrosão do Aço 1020 no Solo Natural Argiloso da Região Amazônica*; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, 2013. [Link] acessado em outubro 2024.
12. Adams, P. E.; *J. Chem. Educ.* **1995**, *72*, 649. [Crossref]
13. Skoog, D.; West, D.; Holler, F.; Crouch, S.; *Fundamentos de Química Analítica*, 9^o ed.; Cengage Learning: Cidade do México, Mexico, 2014.
14. Koch, G.; Varney, J.; Thompson, N.; Moghissi, O.; Gould, M.; Payer, J.; *International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study*; NACE International: Houston, 2016. [Link] acessado em outubro 2024
15. Rieder, E. S.; Brusamarello, V.; Bianchi, A. L.; Balbinot, A.; *Rev. Mater.* **2009**, *14*, 1000. [Crossref]
16. da Luz, E. G.; *Monitoramento da Corrosão no Aço Carbono sae 1020, Aço Galvanizado, Alumínio e Cobre, Considerando as Condições Climáticas Serranas e Litorâneas de Santa Catarina*; Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário UniFacvest, Lages, Brasil, 2018. [Link] acessado em outubro 2024
17. Kulakowski, M. P.; Brehm, F. A.; Kazmierczak, C. S.; Maciel, E. F.; Lunckes, M. Em *Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade*; Kazmierczak, C. S.; Fabricio, M. M., orgs.; ANTAC: Porto Alegre, 2016, p. 37. [Crossref]
18. CIDE, *Relatório Anual 2020*, <https://polocide.com.br/wp-content/uploads/2021/12/Relatório-Anual-2020.pdf>, acessado em novembro 2024.
19. Correia, M. J.; Pernetá, H.; Rodrigues, M. P.; Pereira, E. V.; Salta, M.; *8^o Congresso de Construção Metálica e Mista*; Guimarães, Portugal, 2011. [Link] acessado em outubro 2024.
20. Calcinha, F. P.; *Proteção Anticorrosiva em Petroleiros*; Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2017. [Link] acessado em outubro 2024.