

Monitoramento e estudo comparativo da corrosão do aço galvanizado e do aço carbono em diferentes soluções contendo fosfato com variação de temperatura

Karina T. Pereira^a, Dalila M. da Silveira^b

Resumo

A utilização do aço na indústria para estruturas metálicas vem sendo amplamente aplicada devido à grande resistividade de alguns tipos desse material frente às condições corrosivas do meio. Tubos e placas de aço são geralmente utilizados em estruturas de usinas hidrelétricas, termelétricas e estruturas metálicas da construção civil. Os aços estudados em questão foram o aço carbono e o aço galvanizado devido à ampla utilização e qualidades específicas desses materiais. O aço carbono possui baixo custo, facilidade para soldar e conformar e ele apresenta pouca resistência à corrosão apesar de seus produtos de corrosão não serem tóxicos, diferentemente do aço galvanizado que é muito resistente e durável em meios corrosivos devido ao seu revestimento de zinco. Dessa forma, o presente estudo demonstra os resultados até então obtidos do projeto piloto de análise comparativa desses dois materiais imersos na solução de fosfato com sulfato na temperatura ambiente para posterior análise de outras interferências. O resultado obtido foi o que se era esperado na literatura, em que o aço galvanizado possuiu uma maior resistência à corrosão se comparado com o aço carbono devido à sua camada protetora de zinco. Por fim, as posteriores análises do trabalho completo levarão em conta o estudo da função de agente inibidor ou não do fosfato em solução, assim como a influência da variação de temperatura.

Palavras-chave: aço carbono, aço galvanizado, fosfato, potenciostato.

Introdução

Os metais na natureza em geral existem no estado combinado, na forma de minerais. Dessa maneira, a transformação do minério para um metal é feita pela introdução de energia, essa variando de metal para metal, que é perdida ou liberada quando a estrutura metálica é corroída, perdendo qualidades especiais como resistência mecânica e elasticidade (1). Frente a isso, a monitoração da corrosão é muito importante para avaliar de forma preventiva e corretiva o desenvolvimento do processo corrosivo, realizando ensaios de corrosão ou fazendo a avaliação instantânea da corrosividade e das taxas de corrosão esperadas (2).

A pesquisa utilizou-se de equipamentos para realizar a técnica eletroquímica de potencial de circuito aberto (OCP), impedância e polarização potenciodinâmica linear a fim de se obter análises comparativas para ensaios do aço galvanizado e do aço carbono em solução de sulfato com fosfato.

Primeiramente, o ensaio realizado foi de OCP para se conseguir analisar o efeito da corrosão ao longo do tempo de forma a obter o potencial de corrosão diretamente com a relação com um eletrodo de referência (3). Posteriormente, fez-se a análise impedância para ter resultados quanto a influência das camadas protetoras do aço, já que a impedância de um circuito elétrico indica a dificuldade pelo qual um sinal elétrico (potencial ou corrente) enviado a esse circuito encontra ao percorrê-lo (4). Por fim, realizou-se a técnica de polarização linear, em

^a Estudante Engenharia Química – Universidade Federal de São João del Rei.

^b Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de São João del Rei.

que realiza-se o levantamento da curva de polarização do metal imerso na solução na direção anódica, a partir do potencial de corrosão e de uma velocidade de varrimento padronizada (3). Portanto, o objetivo final do estudo é realizar, subsequentemente, essas análises focando nas soluções contendo fosfato, já que percebeu-se a necessidade de avaliar a função desse composto em meio aquoso e sua influência, visto que em revisões bibliográficas indica-se que o fosfato atua como um agente inibidor de corrosão em certas soluções. A aplicabilidade também é um fator a ser notado na escolha do aço carbono e do aço galvanizado para a pesquisa, já que são muito utilizados na indústria para transporte de fluidos, estruturas metálicas e de equipamentos e, assim, o presente trabalho poderia vir a ser uma solução inicial para os problemas de grande escala no meio industrial.

Metodologia

O procedimento dos ensaios foi realizado no Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, através da disponibilidade do potenciostato da marca Omnimetra Instrumentos, modelo PG-3906, para medição da técnica de OCP, polarização potenciodinâmica linear e de impedância. O presente trabalho descreve os resultados da pesquisa até então obtidos experimentalmente, comparando as respostas para o aço carbono e o aço galvanizado em uma única solução e única temperatura. A programação dos ensaios para o trabalho integral foi organizada em um diagrama de planejamento, como pode-se observar na figura 1. A pesquisa irá dispor de resultados já obtidos de trabalhos anteriores da orientadora para aço galvanizado imerso em solução de sulfato e cloreto na concentração de 3,5% p/p. Dessa maneira, as soluções de fosfato com cloreto e de fosfato com sulfato e soluções só de fosfato irão ser realizadas para análise comparativa de dados gráficos e, assim, posteriormente o encaixe de análises seletivas dentro as soluções citadas que se indicarem mais interessantes para o aço carbono.

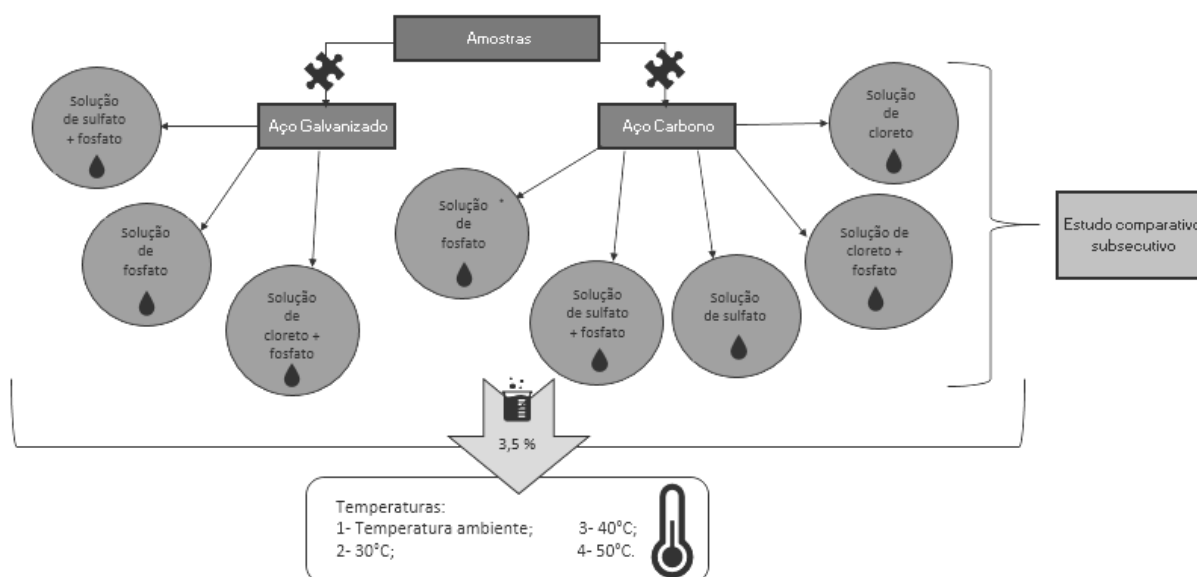


Figura 1: Planejamento integral do ensaios.

Os experimentos realizados até então foram as triplicatas das placas imersas em solução de sulfato e fosfato para o aço galvanizado e aço carbono e as triplicatas para a solução de sulfato apenas para o aço carbono, este último devido a maior facilidade de se preparar a amostra e de se realizar os ensaios com o aço carbono. Com a continuidade do trabalho, as amostras de aço carbono irão apenas ser testadas no final da pesquisa para o estudo comparativo que se julgar mais relevante.

Com o propósito de demonstrar os resultados do estudo piloto da pesquisa, os testes foram feitos em triplicatas a fim de validar o processo para as condições de temperatura ambiente (essas temperaturas oscilaram de 22 a 26°C) e em solução de sulfato de sódio na presença de fosfato de sódio bibásico heptahidratado, ambos em concentração de 3,5% p/p em solução.

Os eletrodos de trabalho foram chapas de aço quadradas devidamente cortadas e soldadas a fios para se fazer a conexão do sistema, o eletrodo de referência utilizado foi o de prata - cloreto de prata e o contra eletrodo de platina. Para a preparação da amostra de aço foi feita a limpeza com álcool em gel para a retirada de impurezas e a Cola Epóxi da marca Araldite Hobby foi utilizada para a proteção da solda e das bordas (este último apenas no caso do aço galvanizado).

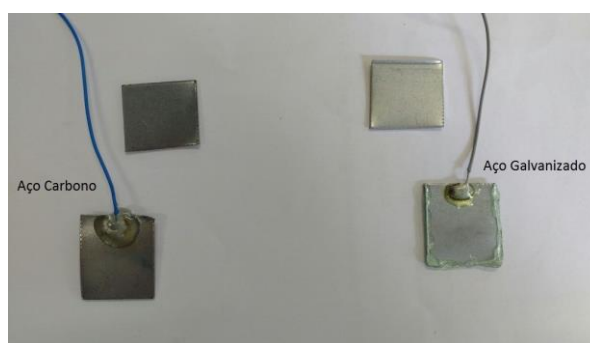


Figura 2 - Placas de aço carbono e aço galvanizado preparadas para a realização do ensaio.

A configuração da montagem eletroquímica foi realizada com um suporte de garras para manter os eletrodos próximos e acima do béquer contendo a solução de trabalho e os eletrodos foram ligados ao equipamento através de conectores garra jacaré correspondentes como demonstrado na figura 3.

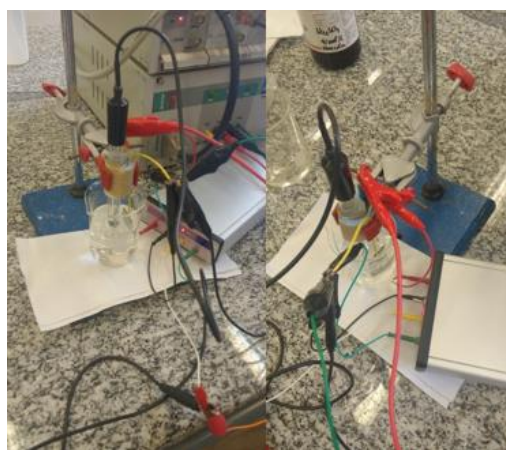


Figura 3 - Configuração da montagem eletroquímica.

Antes de mergulhar as placas na solução aquosa, marcou-se com uma caneta permanente a delimitação de até onde a placa ficaria imersa na solução para facilitar o cálculo da área de

análise. Os softwares auxiliares para a plotagem das curvas e cálculo da área aproximada das placas foram o Origin Pro8 e o ImageJ respectivamente.

Os valores aproximados da área das placas para a análise de polarização e impedância estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Áreas das placas imersas em solução na temperatura ambiente calculadas pelo software ImageJ.

Solução	Amostras	Área (cm²)
Sulfato de sódio e fosfato de sódio bibásico heptahidratado 3,5% p/p	Aço Carbono 1	4,264
	Aço Carbono 2	3,768
	Aço Carbono 3	3,466
	Aço Galvanizado 1	3,020
	Aço Galvanizado 2	3,902
	Aço Galvanizado 3	2,264
Sulfato de sódio 3,5% p/p	Aço Carbono 1	2,628
	Aço Carbono 2	2,758
	Aço Carbono 3	2,99

Os ensaios realizados obtiveram alguns empecilhos e erros durante o projeto piloto devido à inexperiência na utilização do equipamento potenciostato, tendo que se refazer novamente os ensaios. Com isso, pôde-se obter análises em quadruplicatas das avaliações de OCP, visto que constatou-se erro apenas nos ensaios de impedância e polarização linear, tendo esses dois últimos, validações na reprodução de triplicatas nos ensaios para as soluções de sulfato com fosfato.

O teste de OCP foi realizado sem a aplicação de corrente, caracterizando a potenciometria com apenas variação de potencial, tendo uma duração total de 1h. Já o teste de espectroscopia de impedância eletroquímica foi realizado logo após estabilização do potencial de circuito aberto, com uma faixa de frequência que variou de 10 mHz a 10 kHz e com uma taxa de leitura de 26 pontos por década. Assim, o teste de polarização foi realizado por último com a faixa de potencial entre 0,5 V abaixo do de referência e 1,5 V acima do de referência com uma taxa de 1000 mV/s.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos no projeto piloto sugerem que, como previsto pela literatura, o aço galvanizado deveria apresentar melhor resposta de resistência à corrosão do que o aço carbono, visualmente e analiticamente também. Além disso, percebeu-se que os produtos de corrosão para as soluções de sulfato + fosfato foram completamente distintos para a solução de sulfato. A primeira solução (em teste com aço carbono) produziu um produto esbranquiçado e esverdeado na amostra e o segundo um produto alaranjado encrustado na placa.

As figuras que seguem são referentes aos resultados físicos obtidos das placas após os ensaios eletroquímicos, podendo-se notar a diferença clara entre as chapas de aço galvanizado e aço carbono. O produto de corrosão das placas de aço carbono ficou depositado logo abaixo da

conexão placa – fio e também depositado no fundo do béquer, com uma coloração esbranquiçada, que após deixado por um tempo em descanso, tornou-se uma cor esverdeada com uma alaranjada na placa de aço, assinalando assim a presença de ferrugem como observada na figura. Já as placas de aço galvanizado apresentaram uma camada aparente de óxido em sua superfície. Como os experimentos foram realizados na temperatura ambiente, pode-se esperar em ensaios futuros maiores potenciais de corrosão com o aumento da temperatura do meio.



Figura 4: Configuração das amostras de aço carbono após ensaio em solução de sulfato de sódio e fosfato de sódio bibásico heptahidratado 3,5% p/p na temperatura ambiente.



Figura 5: Configuração das amostras de aço galvanizado após ensaio em solução de sulfato de sódio e fosfato de sódio bibásico heptahidratado 3,5% p/p na temperatura ambiente.



Figura 6: Configuração das amostras de aço carbono após ensaios em solução de sulfato de sódio 3,5% p/p na temperatura ambiente.

Os resultados gráficos foram analisados de acordo com as melhores análises obtidas para as triplicatas de aço carbono e aço galvanizado.

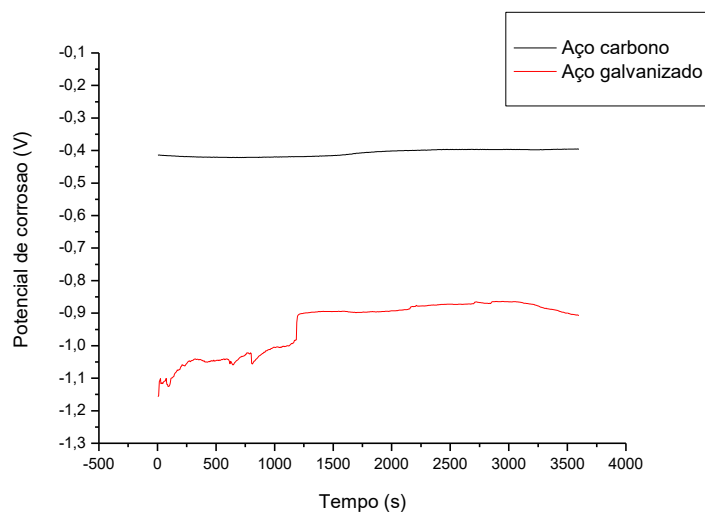


Figura 7: Análise OCP para o aço carbono e aço galvanizado em solução de sulfato de sódio e fosfato de sódio bibásico heptahidratado 3,5% p/p na temperatura ambiente.

A partir da análise comparativa de OCP entre o aço carbono e o aço galvanizado, percebe-se que os potenciais finais de corrosão para o aço galvanizado foram bem menores do que o de aço carbono. O potencial de corrosão do aço carbono obteve uma variação abrupta após um quarto do tempo de ensaio, configurando em um desequilíbrio de potencial com uma variação de 0,1 V. Como essa variação não foi tão grande, não pode-se afirmar que houve uma quebra da camada passiva de zinco. A comparação entre as curvas não condiz com o resultado esperado entre os aços, podendo codificar em algum erro experimental, já que os potenciais de corrosão do aço galvanizado foram menores que o do aço carbono, que não possui uma camada protetora como o galvanizado.

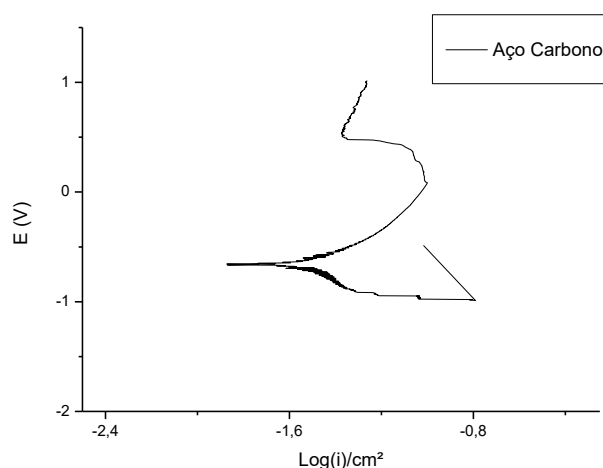


Figura 8: Análise de polarização linear para o aço carbono em solução de sulfato de sódio e fosfato de sódio bibásico heptahidratado 3,5% p/p na temperatura ambiente.

Para a avaliação da polarização linear, percebe-se que as análises para o aço galvanizado não foram tão efetivas se comparado com a melhor análise do aço carbono, principalmente nos limites de desenvolvimento de potencial. Para a amostra de aço carbono, notou-se um disparo de na densidade da corrente para potenciais maiores, indicando uma corrosão localizada por pites, que é visivelmente notada na estrutura física da placa de aço carbono. O comportamento da curva de aço galvanizado irregular, como se observa abaixo, para os potenciais limites apresentaram deformidades, assim como, um potencial de corrosão menor que o apresentado para o aço carbono, já indicado na análise de OCP.

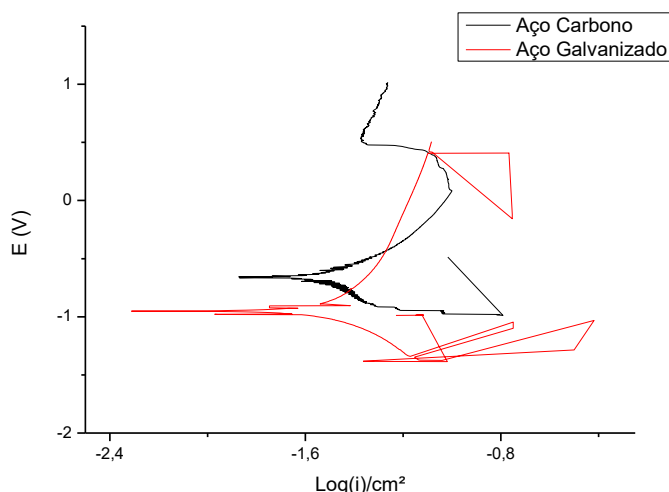


Figura 9: Análise de polarização linear para o aço carbono e o aço galvanizado em solução de sulfato de sódio e fosfato de sódio bibásico heptahidratado 3,5% p/p na temperatura ambiente.

As realizações das curvas de Diagrama de Bode serão feitas para a análise de espectroscopia de impedância eletroquímica como método de caracterização não destrutiva na aplicação de um sinal de tensão para a comparação dos aços e das soluções e temperaturas.

Outro ensaio realizado consequente foi a de amostra de aço carbono imerso em sulfato na temperatura ambiente para analisar a influência de fosfato em solução. As análises comparativas dos ensaios em diferentes soluções irão ser plotadas para interpretação de resultados futuros. A partir apenas da análise visual da placa, tem-se que os produtos formados nas duas soluções com e sem fosfato foram bem distintas, cabendo a esses posteriores estudos de caracterização para identificar as substâncias incrustadas nas placas e depositadas no béquer.

Conclusões

Para a conclusão final deste estudo pretende-se realizar a variância dos parâmetros de temperatura e tipo de solução para uma análise completa das influências das características do meio corrosivo. Como as análises já realizadas obtiveram algumas variações em relação ao que se era esperado, pretende-se otimizá-las e avaliar as soluções e produtos de corrosão formados nas amostras a fim de se definir interferências, erros e composição dos materiais.

Após a validação do método e certificação dos ensaios, pode-se prever a aplicação na indústria química a fim de resolver problemas de corpos de prova corroídos pela interferência de fatores como a temperatura já que, o desenvolvimento do projeto piloto trouxe um cuidado para o trabalho, assim como possíveis otimizações e soluções para a pesquisa em desenvolvimento.

Referências bibliográficas

- (1) RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Editora Lemus, 1990. p. 17-26
- (2) NUNES, L. P. **Fundamentos de Resistência à Corrosão**. Rio de Janeiro: ed. Interciência, 2007, 330 p.
- (3) WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. Ed. Edusp, São Paulo, 2003.
- (4) MONTEMOR, M. F.; SIMÕES, A.M.P.; FERREIRA, M.G.S. **Chloride-induced corrosion on reinforcing steel: from the fundamentals to the monitoring techniques. Cement and Concrete Composites**. v. 25, n. 4-5, p. 491-502, 2003.
- (5) GENTIL, V. **Corrosão**. Ed. ABDR, 3ª ed. Rio de Janeiro, 1996.
- (6) ALVES, A. O. **Influência da Temperatura da Temperatura na Corrosão de Aço Galvanizado**. p. 27, 2017.
- (7) SILVEIRA, D. M. **Avaliação da Resistência à Corrosão de Juntas Soldadas de Aço Inoxidável Lean Duplex UNS S32304 Usando a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica**. p. 126, 2013.