

## **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTOS DE Ni-Mo ELETRODEPOSITADOS SOBRE O AÇO X65**

Bianca de Oliveira Evaristo<sup>1</sup>; Raíssa Alves Queiroga<sup>1</sup>; Josiane Dantas Costa<sup>2</sup>; Mikarla Baía de Sousa<sup>2</sup>; Renato Alexandre Costa de Santana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo, bianca.engpetro@gmail.com, raissa.queiroga089@gmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, josiane\_dantas@hotmail.com, mikarlabaia@hotmail.com;

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Biologia e Química, renatoacs@ufcg.edu.br

### **Introdução**

O problema da corrosão é uma realidade enfrentada em todas as etapas da indústria do petróleo, responsável por uma das maiores quantias gastas com técnicas de proteção e manutenção. Aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) são largamente utilizados na indústria de petróleo e gás.

O aço X65 é comumente usado em operações de transporte e produção, portanto o tubo está exposto à água do mar em sua superfície externa e fluido de produção na parte interna. Desse modo, é de suma importância a determinação da vida útil em função da resistência à corrosão desses dutos [LEMOS, 2009].

Uma maneira encontrada para minimizar os problemas causados pela corrosão é revestir os materiais metálicos com outros metais que apresentem características mais nobres. Essa forma de proteção pode ser obtida através do processo de eletrodeposição, que consiste em codepositar dois ou mais metais para obtenção de ligas metálicas com propriedades específicas como alta resistência mecânica, dureza, resistência à corrosão, entre outras, superiores àquelas oriundas da eletrodeposição de um simples metal [GENTIL, 2007].

Assim, objetiva-se nesse trabalho a obtenção de revestimentos de níquel e molibdênio através do processo de eletrodeposição sobre o aço X65, que sejam resistentes à corrosão e que possam ser aplicados em aços utilizados na indústria de petróleo de maneira segura.

### **Metodologia**

O aço X65, com área exposta de aproximadamente 2 cm<sup>2</sup> em cada amostra, foi embutido em resina PVC, polido com lixas do tipo 100, 220, 360, 400, 600, 1000 e 1200 mesh para remoção de impurezas e homogeneização da superfície e depois submetido a um tratamento químico com NaOH (10%) e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1%) para desengraxe e ativação para o processo de eletrodeposição.

Em seguida o banho eletrolítico foi feito em um agitador e para 1 L de água destilada foram usados 58,82 g de citrato de sódio, 45,998 g de sulfato de níquel e 1,27 g de molibdato de sódio.

Após amostras e banho preparados foi feita a eletrodeposição na superfície dos substratos. O sistema de eletrodeposição usado consistiu em colocar o cátodo (substrato de aço X65) paralelo ao ânodo (folha de platina), sem que houvesse contato entre ambos para depois disso, mergulhá-lo no banho eletrolítico de Ni-Mo. O pH foi ajustado em 8,5 e a temperatura foi fixada em 70 °C, mantida em banho maria. O ajuste da densidade de corrente em 50 mA foi realizado por uma fonte de corrente contínua da marca Agilent modelo E3633A e para se obter uma igualdade teórica nas espessuras dos revestimentos a carga foi fixada em 200 C. Para estimar o tempo de eletrodeposição foi usada a equação do cálculo da carga elétrica:  $Q = i \cdot t$  e a partir dessa equação

foram encontrados os tempos de 30; 28; 29; 24,5; 25; 29; 29; 34,2 minutos, respectivamente. Depois do processo de eletrodeposição, o substrato revestido foi enxaguado com água destilada.

Com os revestimentos sobre o aço X65, sete amostras passaram por tratamento térmico em um forno resistivo da marca EDG modelo F3000 e depois foram resfriadas bruscamente em água destilada (têmpera). Para realizar o tratamento térmico foi utilizado um planejamento experimento  $2^2$  com adição de 3 pontos centrais, variando temperatura e tempo de permanência no forno. Os níveis de investigação estudados foram: 200°C (-1), 400°C (0) e 600°C (+1) para temperatura e 20 minutos (-1), 40 minutos (0) e 60 minutos (+1) para o tempo. Um experimento que não passou pelo processo de tratamento térmico (Experimento 8) foi utilizado para fins de comparação.

Para realização dos ensaios de resistência à corrosão, utilizou-se uma célula eletroquímica composta de três eletrodos: um eletrodo de calomelano saturado (ECS) utilizado como eletrodo de referência, um eletrodo de espiral de platina como contra-eletrodo e um eletrodo de aço X-65 revestido com a liga Ni-Mo como eletrodo de trabalho, com uma área exposta de 0,1256 cm<sup>2</sup>. Os testes de corrosão eletroquímica foram realizados em meio corrosivo contendo NaCl (cloreto de sódio) 3,5 % em solução a temperatura ambiente, simulando a água do mar. Por meio da técnica de polarização potenciodinâmica linear (PPL) foi possível determinar a corrente de corrosão ( $I_{Corr}$ ) e a resistência de polarização ( $R_p$ ) dos revestimentos de Ni-Mo, através do potenciostato/galvanostato Autolab PGSTATE 302N conectado a um computador pelo *software* Nova 1.11 e os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) foram realizados no mesmo aparelho.

### Resultados e discussão

Os resultados obtidos através das curvas de polarização potenciodinâmica linear (PPL) nas sete amostras que passaram por tratamento térmico levando em consideração a corrente de corrosão ( $I_{Corr}$ ) em MicroAmperes ( $\mu A$ ) foram os seguintes: Experimento 1 (2,010  $\mu A$ ); Experimento 2 (1,998  $\mu A$ ); Experimento 3 (0,092  $\mu A$ ); Experimento 4 (7,737  $\mu A$ ); Experimento 5 (0,355  $\mu A$ ); Experimento 6 (0,519  $\mu A$ ) e Experimento 7 (0,662  $\mu A$ ). Para a avaliação da resistência à polarização ( $R_p$ ) em KOhms ( $K\Omega$ ) foram encontrados os seguintes resultados: Experimento 1 (152,680 Kohm); Experimento 2 (40,805 Kohm); Experimento 3 (464 Kohm); Experimento 4 (33,696 Kohm); Experimento 5 (98,235 Kohm); Experimento 6 (75,452 Kohm) e Experimento 7 (82,532 Kohm).

Para o experimento 8, que não passou por tratamento térmico, foi obtida uma corrente de corrosão de 1,128  $\mu A$  e uma resistência à polarização de 46,22 Kohm.

A partir dos valores encontrados é possível afirmar que o experimento 3 apresentou maior resistência à corrosão, isso acontece porque a resistência à polarização apresentou um valor mais alto e a corrente de corrosão um valor mais baixo. Este experimento foi tratado termicamente a 600° C durante 20 minutos, desta forma, conclui-se que este tipo de tratamento térmico (têmpera) pode ser utilizado para aumentar a resistência à corrosão dos revestimentos de Ni-Mo, já que encontramos uma condição (Experimento 3) que apresentou uma maior resistência à corrosão que o revestimento sem tratamento térmico (experimento 8). Os ensaios de impedância dos experimentos revelam semicírculos que caracterizam o fenômeno da transferência de carga, em um único momento, sendo assim, não há formação de filme de passivação. Observa-se que o semicírculo do experimento 3 possui diâmetro maior que os demais experimentos, indicando ser o mais resistente à corrosão.

O tratamento dos dados apresentados foi realizado através do programa “Statística” versão 8.0 e considerando que um valor de probabilidade de 95% de confiança é satisfatório, foi possível estabelecer um modelo de primeira ordem para a corrente de corrosão e para a resistência à polarização, onde T é a

temperatura do tratamento térmico,  $t$  é o tempo que a amostra permanece na temperatura determinada e  $Tt$  é a interação entre a temperatura e o tempo apresentando como resposta o efeito das variáveis na corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) e na resistência à polarização ( $R_p$ ):  $I_{\text{Corr}} = 1,910 + 0,955T + 1,908t + 1,914Tt$  e  $R_p = 135,343 + 76,053T - 135,545t - 79,607Tt$ .

O ajuste dos modelos foi expresso pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que foi igual a 0,76 para a corrente de corrosão e 0,90 para a resistência à polarização. Segundo Barros Neto (2005) quanto mais próximo de 1 estiver o valor de  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste do modelo às respostas observadas. Podemos verificar que apenas o modelo obtido para o  $R_p$  possui um valor próximo da unidade, desta forma, para confirmar se os modelos encontrados representam estatisticamente os dados experimentais, deve-se fazer uma análise de variância (ANOVA).

A análise de variância (ANOVA) para os modelos encontrados foi realizada com um nível de confiança de 95% para  $p < 0,05$ . Os dados apresentados para a corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) demonstram que o modelo estatístico não é significativo e preditivo para  $p < 0,05$ , sugere-se que o delineamento experimental seja ampliado com a incorporação dos pontos axiais para enfim, averiguar se o modelo proposto será significativo e preditivo. Com relação aos dados de resistência à polarização ( $R_p$ ) percebe-se que para a resistência à polarização o tempo teve significância estatística ( $p = 0,026906$ ) e foi a variável que mais influenciou no comportamento dos resultados.

O tempo foi avaliado numa faixa de 20 a 60 minutos e de acordo com os gráficos de superfície de resposta obtidos, os menores valores da corrente de corrosão e maiores da resistência à polarização se encontram próximos do menor tempo estudado (20 minutos). O efeito da temperatura foi avaliado na faixa de 200 a 600 °C e para este efeito os melhores resultados para a corrente de corrosão e resistência à polarização se encontram em torno da maior temperatura (600 °C).

### Conclusões

É possível eletrodepositar uma liga de Ni-Mo na superfície do aço X65 com boa aderência e brilho atestados visualmente e com uma resistência à corrosão melhorada, quando comparado ao aço sem revestimento protetor.

Constatamos que o tratamento térmico teve influência direta na resistência à corrosão do conjunto aço + revestimento no ambiente corrosivo estudado, tendo o experimento 3 (maior temperatura (600°C) e menor tempo (20 minutos)) apresentado uma resistência maior do que o experimento 8 (experimento não tratado termicamente).

O tratamento estatístico é eficaz para este estudo e a variável tempo é a que mais influencia no comportamento corrosivo, já que teve significância estatística considerando a variável resistência à polarização ( $R_p$ ).

**Palavras-Chave:** Corrosão; Eletrodeposição; Aço X65; Liga de Ni-Mo.

### Referências

BARROS NETO, B. DE; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como Fazer Experimentos**. Campinas - SP: Editora Unicamp, 2001.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

LEMONS, Maurício Ferrapontoff. **Avaliação da vida em fadiga de juntas soldadas do aço API 5L X65 em meios aquosos salinos saturados com diferentes pressões parciais de CO<sub>2</sub>**. 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.