

## 12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

### FILMES DE POLIPIRROL: ALTERNATIVA AMBIENTALMENTE FAVORÁVEL PARA PROTEÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO 2024

LUCAS F. VIEIRA<sup>1</sup>, LUCAS D. ARAUJO, LIU Y. CHO<sup>3</sup>, ANDREA S. LIU<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Licenciatura em Química, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus São José dos Campos, [lucas.felix@aluno.ifsp.edu.br](mailto:lucas.felix@aluno.ifsp.edu.br)

<sup>2</sup> Graduando em Licenciatura em Química, Voluntário PIBIFSP, IFSP, Câmpus São José dos Campos, [araujo.diniz@aluno.ifsp.edu.br](mailto:araujo.diniz@aluno.ifsp.edu.br)

<sup>3</sup> Professor no curso de Engenharia Química e Pesquisador na área de Eletroquímica, UNIVAP, São José dos Campos [liu@univap.br](mailto:liu@univap.br)

<sup>4</sup> Professora no curso de Licenciatura em Química, IFSP, Câmpus São José dos Campos, [aliu@ifsp.edu.br](mailto:aliu@ifsp.edu.br)

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.04.05-9 Corrosão

**RESUMO:** Alumínio tem ampla aplicação no setor industrial, devido à baixa massa específica e alta resistência à corrosão, atribuída à camada passiva. No entanto, o alumínio apresenta pobre resistência mecânica e por isso, são adicionados elementos de liga. As ligas de alumínio 2024, largamente utilizadas na indústria aeronáutica, apresentam cobre em sua composição, o que melhora a resistência mecânica, mas as tornam mais susceptíveis à corrosão. Para protegê-las, métodos baseados no uso de cromato têm sido utilizados, embora tenham seu uso restrito devido a impactos ambientais e a saúde humana. Neste contexto, a utilização de polímeros condutores configura entre alternativas ambientalmente viáveis para substituir tais compostos. No presente trabalho, filmes de polipirrol eletrodepositados em ácido dodecilbenzeno sulfônico foram investigados para proteger a liga de alumínio 2024 contra corrosão. Os resultados dos ensaios de polarização potenciodinâmica, em meio agressivo de cloreto, indicam que o potencial de corrosão do metal recoberto com o filme foi deslocado para a região catódica, em relação à superfície metálica apenas polida. Além disso, observou-se que as densidades de correntes anódicas, associadas à oxidação do metal, são menores para a superfície recoberta, podendo-se inferir que o filme polimérico foi capaz de proteger o metal contra corrosão.

**PALAVRAS-CHAVE:** alumínio, polipirrol, corrosão.

### POLYPYRROLE FILMS: ENVIRONMENTALLY FAVORABLE ALTERNATIVE FOR PROTECTION OF 2024 ALUMINUM ALLOY

**ABSTRACT:** Aluminum has several industrial application, due to low specific mass and high corrosion resistance associated to passivation process. However, aluminum presents poor mechanical resistance and so that alloy elements are suitable. The 2024 aluminum alloy (2024 AA) is much used in aeronautic industry and presents copper in its composition, improving the mechanical resistance, but becoming susceptible to pitting corrosion. In order to prevent the corrosion of aluminum alloys, chromate compounds have been used, in spite of the high toxicity and environmental damage. In this context, many researches have been performed to study alternative process, as the use of conducting

polymers. In this work, polypyrrole films were electrodeposited in dodecyl benzene sulfonic acid to investigate the 2024 AA protection. The polarization potentiodynamic results in chloride show a corrosion potential display to positive direction of coated surface in relation to uncoated metal. Furthermore, it was observed that lower anodic currents to PPy coated metal, indicating that the polymeric film can protect the aluminum alloy against corrosion.

**KEYWORDS:** aluminum; polypyrrole; corrosion

## INTRODUÇÃO

O alumínio é um metal muito utilizado no setor industrial, sendo aplicado em diversos setores como o aeronáutico, devido às excelentes propriedades físico-químicas, como baixa massa específica e a elevada resistência a corrosão, atribuída à formação de uma camada passiva, constituída por uma película de óxidos e hidróxidos que protege de forma efetiva a superfície do metal. Contudo, o alumínio puro tem baixa resistência mecânica, tornando necessária a incorporação de elementos de liga, que tornam o alumínio mais propenso à corrosão, diminuindo-se a capacidade de proteção da camada passiva (CAVALCANTE; SILVA, 2017).

Dependendo do meio corrosivo no qual as ligas de alumínio estão submetidas, pode gerar danos à camada de óxido protetora, principalmente em meios contendo cloretos, promovendo a formação de pites, que consiste em uma forma localizada de corrosão. A dissolução da camada de óxido também é favorecida em meios ácidos ou alcalinos, que se deve a sua característica anfótera do óxido de alumínio (FREITAS; ROMANO, 2016).

Como uma alternativa aos processos de cromatização, estuda-se o uso de polímeros condutores para proteção da corrosão das ligas 2024, sendo os mais populares o Polipirrol (PPy) e a Polianilina (PAni) (SOUZA; LIU; CHO, 2019). O polipirrol (PPy), que tem como características sua alta estabilidade química, boa condutividade elétrica e uma fácil síntese química e eletroquímica, podendo ser conduzida em meios aquosos ou orgânicos. Estudos anteriores indicam que ácidos orgânicos conduzem a formação de filmes de PPy mais compactos e homogêneos. (SOUZA; LIU; CHO, 2017). Neste trabalho é investigada a proteção da liga de alumínio 2024 em meio contendo ácido dodecil-benzeno sulfônico.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Materiais:** Para os ensaios eletroquímicos foi utilizado um potenciostato/galvanostato modelo PGSTAT302N da Autolab, que foram realizados em uma célula eletroquímica composta por três eletrodos: eletrodo de trabalho, sendo este um tarugo de alumínio 2024 embutido em teflon com uma área exposta de 0,53 cm<sup>2</sup>, eletrodo de referência (Ag/AgCl) e o eletrodo auxiliar (bastão de platina). Previamente aos ensaios eletroquímicos, a superfície do alumínio foi polida com lixas d'água com granulometria de 220, 400, 600 e 1200 mesh, respectivamente.

**Eletrodeposição:** A solução eletrolítica foi preparada dissolvendo-se 0,2 mol L<sup>-1</sup> de ácido Dodecilbenzenosulfônico e 0,2 mol L<sup>-1</sup> de pirrol em água destilada. A eletrodeposição do polipirrol (PPy) foi realizada por voltametria cíclica, aplicando-se o potencial inicial de -0,5 V até +1,0 V e retorno a -0,5 V vs Ag/AgCl, com velocidade de varredura de 20 mV.s<sup>-1</sup>. Os filmes também foram eletrodepositados por cronoamperometria, aplicando-se potenciais de 1,5 V vs. Ag/AgCl, durante 10 minutos.

**Análise morfológica:** A morfologia das superfícies revestidas com filmes de PPy foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando o equipamento Jeol JXA-840A.

**Teste de corrosão:** A proteção contra corrosão das superfícies da liga 2024, recoberta pelo filme de PPy, foi investigada por meio de curvas de polarização potenciodinâmica, em solução aquosa de NaCl

0,1 mol L<sup>-1</sup> (pH = 6,4), a temperatura ambiente. Para este ensaio, o potencial foi variado de -1,0 V a +1,0 V vs Ag/AgCl, com velocidade de varredura de 1,0 mV.s<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de corrente versus tempo para a eletrodeposição de PPy em solução aquosa contendo 0,5 mol L<sup>-1</sup> de monômero e 0,2 mol L<sup>-1</sup> de ácido dodecilbenzenosulfônico, aplicando-se potencial de +1,5V vs Ag/AgCl é apresentada na Figura 1.

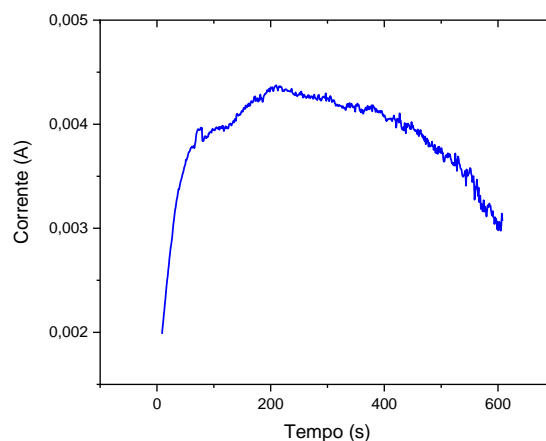


FIGURA 1. A curva de corrente versus tempo para a eletrodeposição de PPy

O resultado evidencia um acentuado crescimento de corrente relacionado à formação de camada passiva e posterior nucleação e crescimento do PPy sobre o eletrodo (VIEIRA; LIU; CHO, 2020).

As curvas de polarização realizadas em meio corrosivo contendo íons cloreto para as superfícies de alumínio são apresentadas na Figura 2.

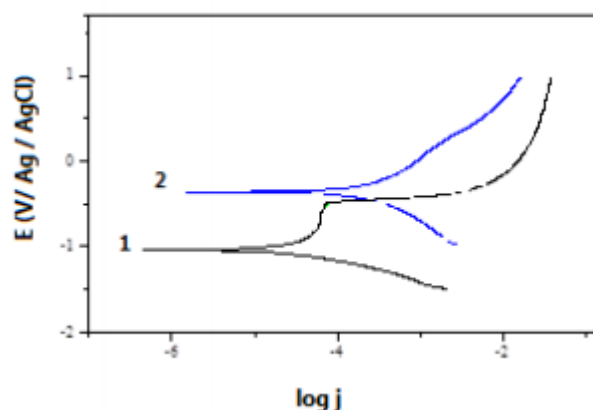


FIGURA 2. Curvas de polarização, obtidas a 2,0 mV s<sup>-1</sup>, utilizando-se meio aquoso de NaCl. (1) superfície apenas polida e (2) superfície recoberta com filme de PPy

É possível observar que o potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) apresenta um deslocamento para a direção positiva quando a superfície de alumínio está recoberta pelo filme de polipirrol. Observou-se também que são menores as densidades de correntes anódicas, associadas à oxidação do metal para a superfície do alumínio recoberta (SHABANI, 2009). Tendo como base por exemplo o potencial de 0,5 V, para a liga recoberta com o filme a corrente anódica é menor, conforme os dados apresentados na tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros eletroquímicos para as superfícies de alumínio.

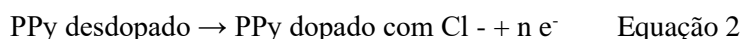
Superfície do alumínio	$E_{\text{corr}}$ (V) <sup>a</sup>	$j$ (mA cm <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup>
Polida (1)	- 0,96 V	31,6
Recoberta por filme de polipirrol (2)	- 0,36 V	7,94

a Potencial de corrosão, b Densidade de corrente a -0,5V

De acordo com os resultados obtidos, pode ser inferido que o filme de polipirrol pode proteger a liga de alumínio contra a corrosão.

As possíveis equações químicas envolvidas durante os ensaios de polarização das superfícies de alumínio são expressas pelas Equações 1 a 4 (BEZERRA, 2015).

**Reações Anódicas:**



**Reações Catódicas:**



A morfologia do filme de PPy eletrodepositado sobre a liga de alumínio foi analisada por MEV e esta apresentada na Figura 3.

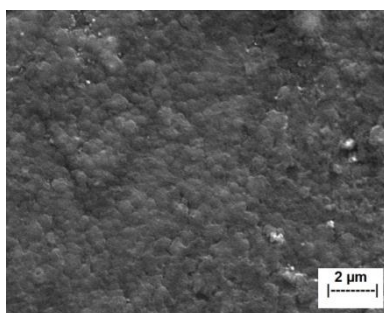


FIGURA 3. MEV para a superfície do alumínio 2024 recoberta com o filme de PPy

O MEV indica que o filme de PPy é homogêneo e não apresenta falhas, que pode atuar como uma barreira para evitar a interação química entre metal e o meio corrosivo (VIEIRA; LIU; CHO, 2020). As condições de síntese podem afetar as estruturas dos filmes de PPy. Segundo Queiroz (2016), o tipo de síntese influencia na uniformidade, tamanho dos poros e área superficial.

**CONCLUSÕES**

Com os resultados obtidos das curvas de Tafel, pode ser inferido que o filme de PPy pode proteger a liga de alumínio 2024 contra a corrosão, já que o potencial de corrosão do metal foi deslocado para a região mais nobre, quando recoberto com o PPy. A micrografia (MEV) indicou que o filme apresentou uma estrutura homogênea e compacta, podendo corroborar para evitar a penetração de espécies corrosivas, dificultando a corrosão do metal.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São José dos Campos pela bolsa PIBIFSP concedida.

## **REFERÊNCIAS**

BEZERRA, K. M. ; LIU, A. S. ; SANTOS, F. E. P. ; CHO, L.Y. Proteção do alumínio 2024 por filmes de polipirrol depositados em ácido p-tolueno sulfônico. Revista Univap, v. 20, p. 111, 2015.

CAVALCANTE, F. F.; SILVA, W. S. Comportamento mecânico da liga de alumínio 2024 submetida a diferentes tempos de envelhecimento. Holos, v. 8, n. 1, p. 86-100, 2017.

FREITAS, E. Jr.; ROMANO, M. A. Processo de corrosão e passivação do alumínio. Revista Acadêmica Oswaldo Cruz, v. 1, n. 1, p. 20-31, 2016.

QUEIROZ, J. C.. Preparação e caracterização de polipirrol: aplicação em músculos artificiais e agente antimicrobiano. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Câmpus Juazeiro - Ba, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2016.

SHABANI, N. M.; GHOREISHI, S.M.; BEHPOUR, M. Electropolymerized polyaniline coatings on aluminum alloy 3004 and their corrosion protection performance. Electrochimica Acta, v. 54, p. 6989– 6995, 2009

SOUZA, A. F.; LIU, A. S. ; CHO, L. Y. Eletrodeposição de filmes de polipirrol em superfícies de alumínio 2024: influência do eletrólito. Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica, v. 1, n. 1, p. 113-127, 2019. Atena Editora

SOUZA, A. F., LIU, A. S., CHO, L. Y. . Proteção contra corrosão da liga de alumínio 2024–T3 por filme de polipirrol eletrodepositado em ácido p-tolueno sulfônico. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 36, n. 1, p. 34-38, 2017.

VIEIRA, L. F.; LIU, A. S.; CHO, L. Y., Filmes de polipirrol para proteção da liga de alumínio 2024 contra corrosão. In: 11º Congresso de inovação, ciência e tecnologia do IFSP, 2020, Presidente Epitácio. Ciências Exatas e da Terra. Presidente Epitácio: IFSP, 2020. p. 1-5.