

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO E ANÁLISE QUÍMICO-MORFOLÓGICA DA LIGA Cu-Zn-Ni REVESTIDA NO AÇO A516

Raíssa Alves Queiroga, raissa.queiroga089@gmail.com¹
Bianca de Oliveira Evaristo, bianca.engpetro@gmail.com¹
Mikarla Baía de Sousa, mikarlabaia@hotmail.com²
Josiane Dantas Costa, josiane_dantas@hotmail.com²
Theophilo Moura Maciel, theophilo.maciell@ufcg.edu.br¹
Renato Alexandre Costa de Santana, renatoacs@ufcg.edu.br³

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB.

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB.

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Biologia e Química, R. Olho D'Água da Bica, S/N, Cuité – PB.

Resumo: Neste estudo foi analisada a influência da concentração de níquel sobre a resistência à corrosão da liga eletrodepositada de Cu-Zn-Ni em três diferentes composições de banho eletrolítico, assim como analisar a microestrutura do revestimento metálico eletrodepositado, através da Microscopia Eletrônica de Varredura, como também, analisar a composição química dos revestimentos, através da espectroscopia de energia dispersiva de raios-x. Os revestimentos de liga Cu-Zn-Ni foram eletrodepositados sobre um substrato de aço A516 à temperatura ambiente, com pH 6, ajustados com hidróxido de amônio. Os banhos foram preparados variando a concentração de sulfato de níquel em cada banho. Desta forma foram realizados 3 banhos variando a concentração de sulfato de níquel e mantendo contante a concentração de sulfato de cobre e sulfato de zinco 0,005 e 0,010 Mol/L, respectivamente, uma concentração de sulfato de níquel e citrato de sódio 0,001 e 0,025 Mol/L no banho 1, 0,004 e 0,100 Mol/L no banho 2 e 0,016-0,400 Mol/L no banho 3, respectivamente. Na análise química, verificou-se que o aumento de níquel foi seguido nas amostras de acordo com o aumento da concentração de sulfato de níquel no banho eletrolítico. A partir da análise dos valores da eficiência catódica observou-se um aumento na eficiência catódica nos revestimentos, com o acréscimo de sulfato de níquel no banho eletrolítico. Constatou-se na análise morfológica, uma alteração na morfologia dos revestimentos com o a variação da concentração de níquel, bem como a presença de nódulos e grãos refinados. Nos testes de espectroscopia de impedância eletroquímica, observou-se que o aumento da concentração de sulfato de níquel no banho eletroquímico causou um aumento da resistência à corrosão até certo ponto, uma vez que um grande aumento de sulfato de níquel não produziu um revestimento com alto teor de níquel e conseqüentemente, diminuído sua resistência à corrosão.

Palavras-chave: Eletrodeposição, Corrosão, Revestimento, Ligas Metálicas, Cu-Zn-Ni.

1. INTRODUÇÃO

A corrosão é um dos fatores que demandam maior custo e recursos para seu controle, por isso é uma constante pesquisas e desenvolvimento de tecnologias que auxiliem na prevenção e combate do processo corrosivo. Nesse sentido, a utilização de revestimentos protetores é um dos principais métodos de proteção à corrosão. Dentre estes revestimentos, os metálicos são de uma grande importância industrial, por apresentarem boas propriedades mecânicas e físicas, como: alta dureza, resistência ao impacto, ductilidade e resistência à corrosão (KOTZ, J. C.; TREICHEL, 2005).

Existem diversos métodos que podem ser utilizados na fabricação de filmes finos, todos eles permitindo a obtenção de amostras com propriedades semelhantes. A síntese eletroquímica destes filmes finos ganhou ampla atenção porque é simples, rápida e econômica em comparação com técnicas tradicionais baseadas no vácuo. O tamanho de partícula, a orientação cristalográfica, a espessura e a morfologia de filmes finos podem facilmente ser bem-sucedidas, controlando a química do banho, e vários outros parâmetros de deposição (QIAO et al., 2013; NATH; SAHU; MALLIK, 2016).

Dentre estas técnicas, destaca-se a eletrodeposição que é uma técnica que consiste na redução de metais carregados eletricamente para a superfície de um substrato por meio de uma corrente elétrica (ARAÚJO JÚNIOR, 2015).

Os revestimentos são compostos por ligas metálicas, os revestimentos de Zn são amplamente utilizados para proteger peças de aço contra corrosão. Estes revestimentos atuam como uma barreira na superfície de aço, e também como uma proteção galvânica ao substrato (CALDEIRA et al., 2017). Apesar das vantagens dos revestimentos de Zn, eles corroem rapidamente devido ao maior potencial do eletrodo em relação ao aço (HAMMAMI; DHOUIBI; TRIKI, 2009). A liga de Zn com Ni e Cu pode diminuir a taxa de dissolução e a diferença de potencial de corrosão de Zn e aço, enquanto as propriedades sacrificiais dos revestimentos são preservadas (BOCKELMANN et al., 2017). Entre todos os revestimentos de liga à base de Zn, foi dada muita ênfase aos revestimentos de Zn-Ni devido à sua alta resistência à corrosão e flexibilidade, juntamente com pouca possibilidade de fragilização de hidrogênio (HEMEDA et al., 2015). A resistência à corrosão dos revestimentos de liga Zn-Ni depende fortemente da sua composição e estrutura química (BAHADORMANESH; GHORBANI; KORDKOLAEI, 2017).

O cobre é o material mais promissor para as aplicações industriais, que exigem materiais com alta capacidade elétrica e/ou térmica, embora seja necessário melhorar as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão das ligas de cobre (ZHOU; SU; SUN, 2010). Ligas de Cu-Ni-Zn, conhecidas como "prata de níquel", têm uma ótima resistência à corrosão e, portanto, são excelentes candidatos para proteções metálicas e revestimentos. O níquel melhora as propriedades mecânicas dessas ligas, enquanto o zinco diminui o ponto de fusão e minimiza a porosidade (DIÁNEZ et al., 2016).

Destaca-se a liga de Cu-Zn-Ni, que possui boas propriedades mecânicas e acentuada resistência à corrosão (SOUSA, 2015), devido às características dos elementos que compõe essa liga, que se destacam pela capacidade do níquel de melhorar as propriedades mecânicas, enquanto que o zinco diminui o ponto de fusão e minimiza a porosidade, e o cobre melhora a ductilidade da mesma (BYK; GAEVSKAYA; TSYBULSKAYA, 2008).

Este estudo tem como objetivo estudar a influência da concentração de níquel na resistência à corrosão da liga Cu-Zn-Ni, em três diferentes composições de banho eletrolítico, analisando a eficiência catódica, a microestrutura e a composição química dos revestimentos metálicos eletrodepositados.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Composição do Banho Eletrolítico

Os parâmetros utilizados no banho eletrolítico incluem a concentração dos reagentes e o pH. Nesse caso variaram-se as concentrações dos reagentes sulfato de níquel e citrato de sódio (Tab. 1). Produziu-se os banhos variando a concentração de sulfato de níquel em 3 vezes, em cada banho, para que dessa forma, a influência da concentração do níquel na resistência a corrosão fosse avaliada de forma mais significativa.

O tempo de deposição e a corrente, foram calculados segundo a equação da carga elétrica (Eq. 1).

$$Q = i.t \quad (1)$$

Onde, Q = Carga elétrica;
i = Corrente;
t = Tempo de eletrodeposição.

Tabela 1. Composição dos banhos eletrolíticos de Cu-Zn-Ni.

Concentração Componente	Banho 1		Banho 2		Banho 3	
	Mol/L	g/L	Mol/L	g/L	Mol/L	g/L
Sulfato de Níquel	0,001	0,0657	0,004	0,2628	0,016	1,0514
Citrato de Sódio	0,025	1,8381	0,100	7,3525	0,400	29,4100
Sulfato de Cobre	0,005	0,1995	0,005	0,1995	0,005	0,1995
Sulfato de Zinco	0,010	0,7189	0,010	0,7189	0,010	0,7189

2.2. Eletrodeposição

O substrato utilizado foi uma placa de aço A516, cortado em dimensões com aproximadamente 1,86 cm x 1,66 cm e com área superficial média de 3,085 cm², embutido em resina PVC para melhor conexão com o eletrodo. A preparação do substrato foi feita através do polimento com lixas de diferentes granulações. O substrato foi inicialmente polido com quatro tipos de lixas: 100, 400, 600 e 1200 mesh para retirada de impurezas e homogeneização da superfície e em seguida foram submetidas a um tratamento químico com NaOH (10%) para a retirada de graxas e H₂SO₄ (1%) para ativação da superfície.

O sistema de eletrodeposição utilizado consistiu em colocar o cátodo (substrato) paralelo ao ânodo (folha de platina), sem que houvesse contato entre ambos para depois disso, mergulhá-lo no banho eletrolítico de Cu-Zn-Ni. O pH foi

ajustado adicionando ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado e hidróxido de amônio (NH_4OH) para reduzir e elevar o pH, respectivamente. Foi usado um pHmetro de bancada da marca Quimis modelo Q400MT para realizar as medições de pH, sendo este ajustado em 6,0. O ajuste da densidade de corrente foi realizado por uma fonte de corrente contínua da marca Agilent modelo E3633A. Todos os ensaios foram realizados sob temperatura ambiente.

2.3. Cálculo da Eficiência de Corrente Catódica

A determinação da eficiência de corrente catódica (ECC) foi determinada pela massa dos revestimentos obtida como resultado da diferença da massa antes e depois da deposição que foram medidas em uma balança analítica com precisão de 0,0001 mg, pela carga aplicada e composição química dos depósitos que foi determinada pela análise de Energia Dispersiva de Raios-X (EDX). A eficiência de corrente catódica foi calculada pela seguinte equação, de acordo com a lei de Faraday (OLIVEIRA et al., 2015).

$$ECC = \frac{w}{EW \cdot I_t \cdot t} = \frac{w \cdot F}{I_t \cdot \sum \frac{c_i \cdot n_i}{M_i}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

w é a massa medida do depósito (g);

t é o tempo de deposição (min);

I é a corrente total aplicada (A);

c_i é fração peso do elemento na liga depositada;

n_i é o número de elétrons transferidos na redução de 1 mol de átomos dos elementos;

M_i é a massa atômica dos elementos (g mol^{-1});

F é a constante de Faraday ($96,485 \text{ C mol}^{-1}$).

2.4. Composição Química

A espectroscopia de dispersão de raios-X (EDX) é muito importante na análise de filmes depositados, pois essa análise permite a obtenção de informações sobre a incorporação de aditivos presentes no banho de deposição, outros metais ou impurezas. Deste modo, no caso da incorporação de aditivos a técnica pode nos auxiliar na compreensão do efeito do mesmo no processo de deposição e morfologia do filme (OLIVEIRA; CARLOS, 2008).

A espectroscopia de energia dispersiva de raios-x (EDX) foi feita utilizando um microscópio eletrônico de varredura Tescan VEGA3 SBH equipado com Detector de EDS a seco da Oxford modelo X-ACT IE150, para identificar os metais presentes na superfície dos revestimentos.

2.5. Morfologia

A Microscopia Eletrônica de Varredura-MEV é uma técnica utilizada para analisar a microestrutura de um determinado material, permitindo entender as correlações microestrutura-defeitos-propriedades e prever as propriedades do material, quando estas correlações são estabelecidas (PACHECO, 2006).

A análise morfológica foi feita através do microscópio eletrônico de varredura da Tescan modelo VEGA3 SBH, com ampliação de 1000 e 3000 vezes. As micrografias superficiais foram feitas sem que as amostras sofressem qualquer tipo de tratamento anterior, como polimento ou ataque químico superficial. Esta análise mostra o comportamento da superfície do revestimento em forma de imagem.

2.6. Ensaios de Corrosão

Nos ensaios de corrosão, utilizou-se uma célula eletroquímica composta de três eletrodos. O eletrodo de calomelano saturado (ECS) foi utilizado como eletrodo de referência, um eletrodo de folha de platina como contra-eletrodo e um eletrodo de aço A516 revestido com a liga Cu-Zn-Ni como eletrodo de trabalho, com uma área exposta de $0,1256 \text{ cm}^2$. A distância entre os eletrodos foi mantida fixa durante todos os experimentos. Todos os potenciais se referem ao eletrodo de calomelano saturado. As medidas eletroquímicas foram feitas com a célula eletroquímica dentro de uma gaiola de Faraday, com o intuito de reduzir tanto quanto possível o efeito de distúrbios e interferências causados por quaisquer sinais eletromagnéticos externos no sistema sob estudo.

A técnica de polarização potenciodinâmica linear foi utilizada para determinar os potenciais de corrosão, as correntes de corrosão e as resistências de polarização dos revestimentos de Cu-Zn-Ni. As curvas de polarização foram obtidas com uma taxa de varredura de 1 mV s^{-1} através de um potenciostato/galvanostato Autolab PG STATE 302N conectado a um computador pelo *software* Nova 1.11. Todos 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.

Os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) foram realizados no mesmo equipamento utilizado para a polarização potenciodinâmica linear, com um intervalo de frequência de 100 kHz a 10 mHz e amplitude de 0,01V. Os dados de entrada utilizados na análise consistiram nos potenciais de circuito aberto. O procedimento seguido consistiu em ensaios de imersão contínua da área interna da célula, em solução aquosa de NaCl 3,5%, sob efeito da polarização nos

potenciais selecionados. Antes das medidas de EIS, os experimentos de OCP foram monitorados por 3600 segundos até atingir um valor estável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição Química

Pelo EDX, é possível obter informações qualitativas e quantitativas da composição química da amostra na região submicrométrica de incidência do feixe de elétrons (PACHECO, 2006). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos através do EDX para os experimentos realizados.

Tabela 2. Resultados de composição química da liga Cu-Zn-Ni.

Experimento	Cu (wt %)	Zn (wt %)	Ni (wt %)
1	45,80	47,41	6,79
2	22,58	65,41	12,01
3	25,37	61,04	13,59

Observa-se, através dos resultados encontrados, que ocorreu uma mudança na composição química. Supunha-se tal alteração devido ao aumento nas concentrações do sulfato de níquel e do citrato de sódio na elaboração dos banhos eletroquímicos para eletrodeposição da liga Cu-Zn-Ni. Analisando a quantidade de níquel presente em cada experimento, verifica-se que o aumento no teor desse metal seguiu-se de acordo com o aumento na concentração do sulfato de níquel (Exp. 1 < Exp. 2 < Exp. 3) e do experimento 2 para o experimento 3 essa variação foi baixa, já que a concentração de sulfato de níquel foi quadruplicada de um experimento para outro.

No experimento 2 houve uma diminuição no teor de cobre e um aumento no teor de zinco, se comparado ao experimento 1. E no experimento 3, observou-se uma diminuição de zinco e aumento de cobre em relação ao segundo experimento.

3.2. Eficiência Catódica

Na eletrodeposição, a medida da eficiência do processo pode ser realizada em termos de energia efetivamente utilizada para deposição e a energia total fornecida ao sistema. Se uma fração da corrente contínua for utilizada por algum outro processo indesejável em paralelo, ela é considerada desperdiçada. Geralmente isto ocorre, como por exemplo, na deposição do cobre, em que certa quantidade de hidrogênio é reduzida juntamente com o cobre. Logo, a eficiência de corrente catódica é função da quantidade de hidrogênio reduzido, sendo tanto maior, quanto menor for a quantidade de hidrogênio. Cabe salientar que a eficiência de corrente varia muito, devido a vários fatores como composição do banho, temperatura e densidade de corrente (SOUZA, 2015).

No entanto, o que realmente importa para processos de eletrodeposição é o depósito formado em menor tempo possível, sendo a eficiência de corrente o parâmetro mais importante nessa etapa do processo (PANOSIAN, 1993; COSTA, 2007).

De acordo com a análise dos valores da eficiência catódica dos experimentos ensaiados (Tab. 3), pode-se observar que o aumento da concentração de sulfato de níquel no banho eletrolítico causa um aumento na eficiência catódica dos experimentos. Há um aumento significativo no experimento 2 se comparado ao experimento 1, devido ao aumento da concentração do sulfato de níquel que causou o aumento da deposição de zinco no revestimento, já o experimento 3, quando comparado ao experimento 2, não apresentou um aumento no valor de eficiência catódica tão significativo, mesmo com o aumento da concentração de sulfato de níquel na composição química do revestimento. Isso demonstra que o aumento da concentração de sulfato de níquel no banho eletrolítico irá aumentar a eficiência catódica da eletrodeposição, mas o acréscimo elevado de sulfato de níquel no banho não elevará a eficiência catódica a níveis mais significativos.

Tabela 3. Valores de eficiência catódica dos revestimentos ensaiados.

Experimento	Eficiência Catódica (ECC%)
1	15,39
2	23,86
3	27,89

3.3. Morfologia

Nas análises morfológicas dos experimentos, observa-se que o experimento 1 mostra uma superfície irregular com formação de nódulos de diferentes formatos, esse comportamento pode estar associado à maior concentração de cobre no revestimento.

No experimento 2, observa-se uma superfície homogênea, já que tem-se a presença de nódulos de formatos semelhantes, comportamento similar foi encontrado por Garcia *et al.* (2013), para a liga Cu-Zn. Já no experimento 3, ocorreu um aumento no percentual da concentração de níquel que proporcionou a formação de uma superfície com diferentes formações de grãos refinados. Na ampliação de 1000x foram observadas regiões escuras exibindo assim heterogeneidade na superfície.

Por meio das análises de composição química que foram feitas na superfície nodular dos revestimentos, verificou-se que nos nódulos estão presentes uma quantidade maior do metal zinco em relação aos metais cobre e níquel.

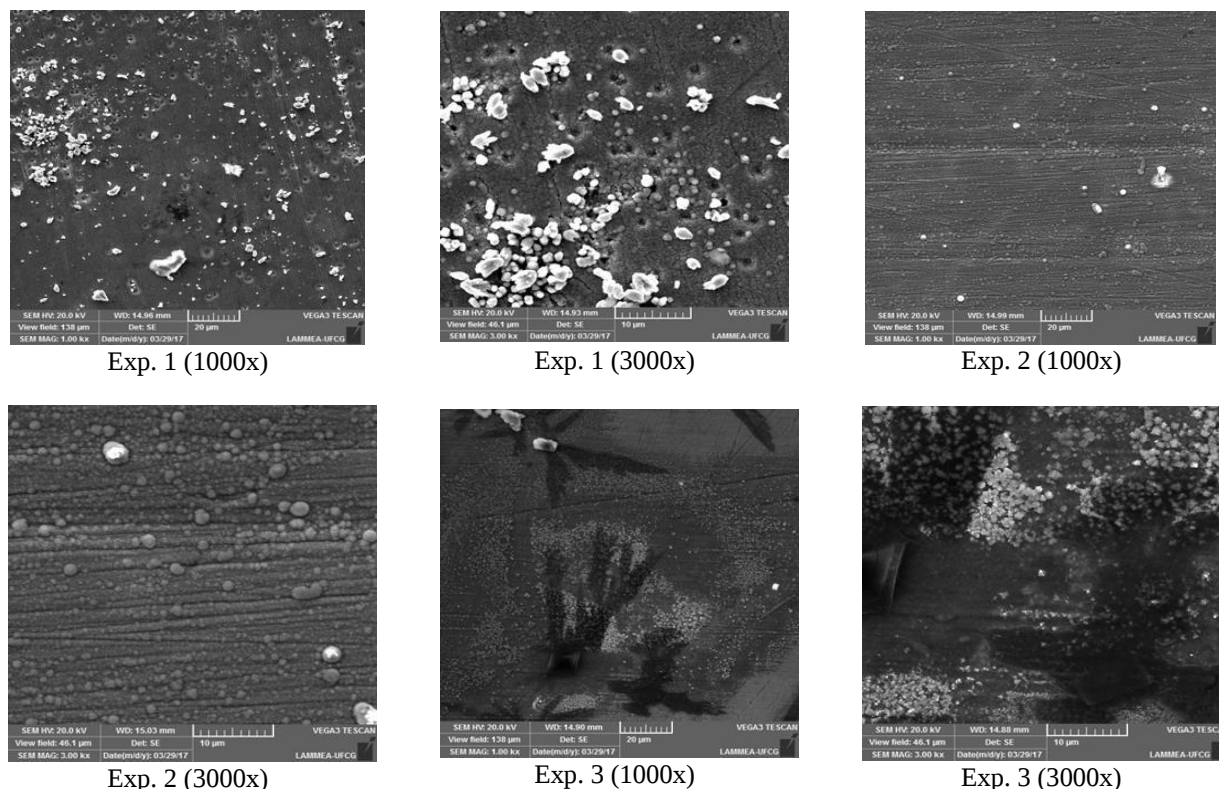


Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura da superfície dos experimentos 1, 2 e 3 com ampliação de 1000 e 3000x.

3.4. Avaliação da corrosão

No estudo da resistência à corrosão, comumente é empregada a análise de gráficos de polarização. Nesses gráficos cada curva representa o potencial em corrosão em relação a corrente de corrosão (normalmente expressa por $\log I$), deve-se observar a extensão do “mergulho” de cada curva, quanto maior esse “mergulho” significa que o material em questão possui uma maior capacidade de resistir à corrosão. O ponto onde essa curva tem o menor valor de corrente de corrosão ($\log I$) é o ponto que indica o potencial de corrosão do material. Quanto maior o potencial de corrosão maior será a sua resistência à corrosão, já em relação à corrente, quanto menor esse valor maior será a resistência à corrosão do material.

Inicialmente foram obtidas as curvas de polarização potenciodinâmica linear (PPL), que estão apresentadas na Fig. 2, onde se observa que as curvas de polarização ficaram muito próximas e, para saber com maior precisão qual foi o experimento com maior resistência à corrosão, se fez necessário analisar os parâmetros eletroquímicos (potencial de corrosão (E_{corr}), corrente de corrosão (I_{corr}) e resistência à polarização (R_p)). Através do *software* Nova 1.11, os parâmetros eletroquímicos foram extraídos por meio da extrapolação das retas de Tafel e os dados obtidos estão listados na Tab. 4.

Tabela 4. Parâmetros eletroquímicos dos revestimentos de CuZnNi extraídos das curvas de polarização.

Experimentos	E_{corr} (V)	I_{corr} (μA)	R_p ($K\Omega.cm^2$)
1	-0,636	9,89	6,23
2	-0,614	1,31	18,07
3	-0,564	1,39	15,47

De acordo com a Tab. 4, observa-se que o revestimento mais resistente à corrosão foi o obtido no experimento 2, já que o mesmo apresentou menor corrente de corrosão e maior resistência à polarização. Ao analisar a Tab. 2, percebe-se que o experimento 2 possui maior teor de níquel quando comparado ao experimento 1. Alguns trabalhos na literatura (SANTANA; LUIZ; OLIVEIRA, 2006) relatam que o aumento do teor de níquel nos depósitos causa um aumento da resistência à corrosão. Foi possível verificar também que o experimento 2 possui a menor quantidade de cobre e maior de zinco dentre os três experimentos, segundo ZHOU; DENG; SU (2010) a adição do zinco à liga Cu-Ni provocou um curioso aumento da resistência à corrosão.

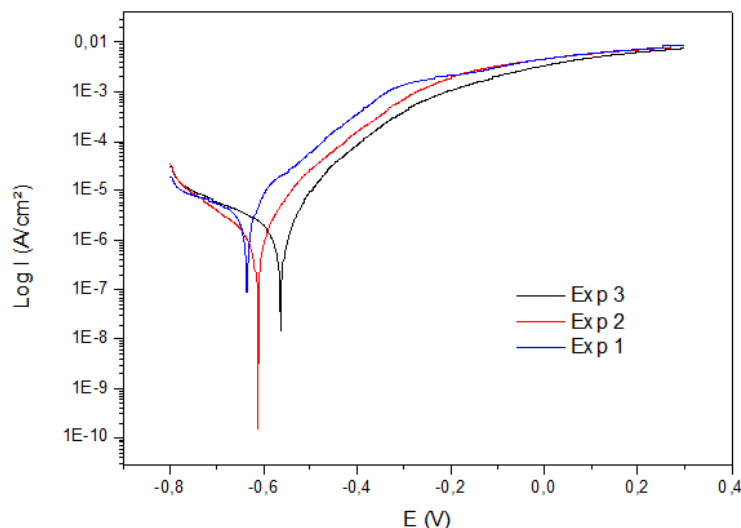


Figura 2. Curvas de Polarização Potenciodinâmica Linear dos revestimentos de CuZnNi, obtidas em eletrólito que simula a água do mar.

A fim de verificar o comportamento corrosivo obtido nos ensaios de polarização, ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica foram realizados e os resultados estão apresentados sob a forma de diagrama de Nyquist, na Figura 3. O diagrama de Nyquist é a forma mais usada para expressar os resultados obtidos através da técnica de impedância. Quanto maior for a impedância do sistema tanto mais passivo será este sistema, ou seja, maior será a restrição do referido sistema à condução de corrente, significando que a taxa de corrosão ou densidade de corrente de corrosão ao longo do sistema de análise, será a mais baixa possível (ES-SALAH *et al.*, 2004).

Os diagramas de Nyquist dos experimentos apresentados na Fig. 3 revelaram semicírculos que caracterizam o fenômeno da transferência de carga, em um único momento, sendo assim, confirmando o observado nas curvas de polarização, não há formação de filme de passivação. Observou-se que o semicírculo do experimento 2 possui diâmetro maior que os outros experimentos, este fato também confirma os resultados obtidos nos ensaios de polarização, ou seja, o experimento 2 apresentou maior resistência à corrosão.

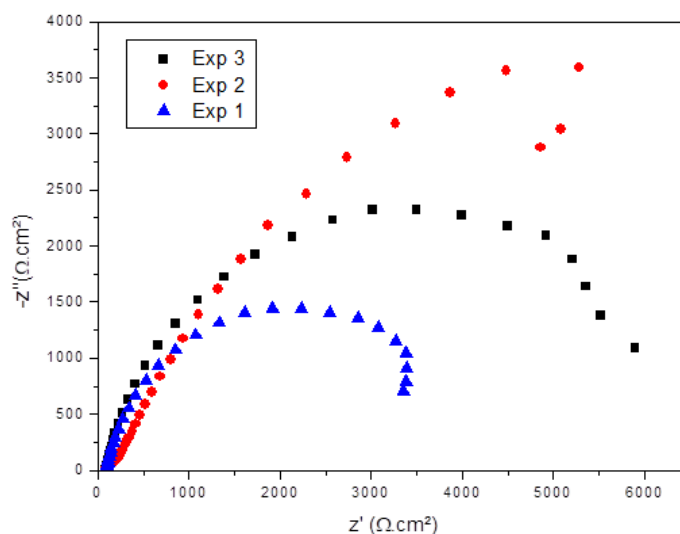


Figura 3. Diagramas de Nyquist dos revestimentos de CuZnNi, obtidos em eletrólito que simula a água do mar.

4. CONCLUSÕES

Constatou-se que o aumento da concentração do sulfato de níquel no banho eletroquímico ocasionou o aumento da eficiência catódica e produziu revestimentos com maior teor de níquel (Exp. 2 e 3), que apresentaram superfície mais compacta e homogênea, bem como uma redução significativa na concentração de cobre e um aumento no teor de zinco, que resultou em um aumento na resistência à corrosão até certo ponto, pois um aumento em demasia do sulfato de níquel e do sulfato de zinco (Exp. 3) não produziu um revestimento com teor níquel elevado e consequentemente, o revestimento não foi o mais resistente à corrosão.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO JÚNIOR, J. N. **Obtenção e caracterização de filmes de ni e tricamadas de ni/cu/ni produzidos por eletrodeposição**. 2015. Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

BAHADORMANESH, B.; GHORBANI, M.; KORDKOLAEI, N. L. Electrodeposition of nanocrystalline Zn/Ni multilayer coatings from single bath: Influences of deposition current densities and number of layers on characteristics of deposits. **Applied Surface Science**, v. 404, p. 101–109, 2017.

BOCKELMANN, M.; REINING, L.; KUNZ, U.; TUREK, T. Electrochemical characterization and mathematical modeling of zinc passivation in alkaline solutions: A review. **Electrochimica Acta**, v. 237, p. 276–298, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2017.03.143>>.

BYK, T. V.; GAEVSKAYA, T. V.; TSYBULSKAYA, L. S. Effect of electrodeposition conditions on the composition, microstructure, and corrosion resistance of Zn-Ni alloy coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 202, n. 24, p. 5817–5823, 2008.

CALDEIRA, V.; ROUGET, R.; FOURGEOT, F.; THIEL, J.; LACOSTE, F.; DUBAU, L.; CHATENET, M. Controlling the shape change and dendritic growth in Zn negative electrodes for application in Zn/Ni batteries. **Journal of Power Sources**, v. 350, p. 109–116, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.069>>.

COSTA, P. H. B.. **Otimização do Processo de Eletrodeposição de Cobre sobre Eletrodo Poroso**. Trabalho de Graduação - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

DIÁNEZ, M. J.; DONOSO, E.; CRIADO, J. M.; SAYAGUÉS, M. J.; DÍAZ, G.; OLIVARES, L. Study by DSC and HRTEM of the aging strengthening of Cu-Ni-Zn-Al alloys. **Materials and Design**, v. 92, p. 184–188, 2016.

ES-SALAH, K.; KEDDAM, M.; RAHMOUNI, K.; SRHIRI, A.; TAKENOUTI, H. Aminotriazole as corrosion inhibitor of Cu-30Ni alloy in 3% NaCl in presence of ammoniac. **Electrochimica Acta**, v. 49, n. 17–18, p. 2771–2778, 2004.

GARCIA, J. R.; LAGO, D. C. B. Do; SILVA, F. L. G.; D'ELIA, E.; LUNA, A. S.; SENNA, L. F. De. Statistic evaluation of cysteine and allyl alcohol as additives for Cu-Zn coatings from citrate baths. **Materials Research**, v. 16, n. 2, p. 392–403, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392013000200016&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

HAMMAMI, O.; DHOUBI, L.; TRIKI, E. Influence of Zn-Ni alloy electrodeposition techniques on the coating corrosion behaviour in chloride solution. **Surface and Coatings Technology**, v. 203, n. 19, p. 2863–2870, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.02.129>>.

HEMEDA, O. M.; TAWFIK, A.; EL-SAYED, A. H.; HAMAD, M. A. Synthesis and Characterization of Semi-crystalline NiCoP Film. **Journal of Superconductivity and Novel Magnetism**, v. 28, n. 12, p. 3629–3632, 2015.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M. **Química geral 2 e reações químicas**. São Paulo: Thomson Learning Edições, 2005.

NATH, P.; SAHU, D. K.; MALLIK, A. Physicochemical and corrosion properties of sono-electrodeposited Cu-Ni thin films. **Surface and Coatings Technology**, v. 307, p. 772–780, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.09.085>>.

OLIVEIRA, A. L. M.; COSTA, J. D.; DE SOUSA, M. B.; ALVES, J. J. N.; CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C.; PRASAD, S. Studies on electrodeposition and characterization of the Ni-W-Fe alloys coatings. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 619, p. 697–703, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.09.087>>.

OLIVEIRA, E. M.; CARLOS, I. A. **Desenvolvimento de banhos ácidos na presença de poliálcoois para eletrodeposição de liga de zn-ni. caracterização eletroanalítica do processo de deposição e caracterização química, física e morfológica dos filmes de zn-ni.** 2008. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2008.

PACHECO, L. C. M. **Eletrodeposição de cuni em meio de sulfato. uma nova abordagem.** 2006. Universidade Federal do Ceará, 2006.

PANOSSIAN, Z. **Corrosão e Proteção contra Corrosão em Equipamentos e Estruturas Metálicas**, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Vol. II, 1º ed.; 1993.

QIAO, X.; LI, H.; ZHAO, W.; LI, D. Structure characterization of nanocrystalline Ni-W alloys obtained by electrodeposition. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 557, n. 3, p. 204–210, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.04.033>>.

SANTANA, R. A. C. de; LUIZ, A.; OLIVEIRA, M. De. ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DO BANHO PARA ELETRODEPOSIÇÃO DA LIGA DE Ni-Cu-W. In: X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, **Anais...**2006.

SOUSA, M. B. **Estudo da caracterização da liga cu-zn-ni obtida pelo processo da eletrodeposição.** 2015. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2015.

ZHOU, X. Z.; SU, Y. C.; SUN, J. M. Effect of aluminum on precipitation hardening in Cu-Ni-Zn alloys. **Journal of Materials Science**, v. 45, n. 11, p. 3080–3087, 2010.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION Of CORROSION RESISTANCE And CHEMICAL-MORPHOLOGICAL ANALYSIS Of Cu-Zn-Ni ALLOY COATED In A516 STEEL

Raíssa Alves Queiroga, raissa.queiroga089@gmail.com¹
Bianca de Oliveira Evaristo, bianca.engpetro@gmail.com¹
Mikarla Baía de Sousa, mikarlabaia@hotmail.com²
Josiane Dantas Costa, josiane_dantas@hotmail.com²
Theophilo Moura Maciel, theophilo.maciell@ufcg.edu.br¹
Renato Alexandre Costa de Santana, renatoacs@ufcg.edu.br³

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB.

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB.

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Biologia e Química, R. Olho D'Água da Bica, S/N, Cuité – PB.

Abstract: *Cu-Zn-Ni electrodeposited alloy in three different electrolytic bath compositions was analyzed, as well as the microstructure of the electrodeposited metallic coating, by Scanning Electron Microscopy, as well as to analyze the chemical composition of the coatings through x-ray dispersive energy spectroscopy. Cu-Zn-Ni alloy coatings were electrodeposited on a substrate of A516 steel at room temperature, pH 6, adjusted with ammonium hydroxide. The baths were prepared by varying the concentration of nickel sulfate in each bath. In this way, 3 baths were carried out by varying the nickel sulphate concentration and keeping the concentration of copper sulphate and zinc sulphate 0.005 and 0.010 Mol / L, respectively, a concentration of nickel sulfate and sodium citrate 0.001 and 0.025 Mol / L in bath 1, 0.004 and 0.100 Mol / L in bath 2 and 0.016-0.400 Mol / L in bath 3, respectively. In the chemical analysis, it was found that the increase of nickel was followed in the samples according to the increase of the concentration of nickel sulfate in the electrolytic bath. From the analysis of the cathodic efficiency values, an increase in the cathodic efficiency of the coatings was observed, with the addition of nickel sulphate in the electrolytic bath. Morphological analysis revealed a change in the morphology of the coatings with the variation of the nickel concentration, as well as the presence of nodules and refined grains. In the electrochemical impedance spectroscopy tests, it was observed that increasing the concentration of nickel sulphate in the electrochemical bath caused an increase in corrosion resistance to a certain extent, since a large increase of nickel sulphate did not produce a coating with high nickel content and consequently decreased its corrosion resistance.*

Keywords: *Electrodeposition, Corrosion, Coating, Metal Alloys, Cu-Zn-Ni.*