

CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DE Co-Fe OBTIDO POR ELETRODEPOSIÇÃO PARA A INDÚSTRIA DE PETRÓLEO

Kleber Martiniano de Lima¹; Mikarla Baía de Sousa²; Josiane Dantas Costa²; Nathália Cristina Morais Lia Fook²; Renato Alexandre Costa de Santana³

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica - kleberml2009@hotmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química - mikarlabaia@hotmail.com; nathfook@hotmail.com; josiane_dantas@hotmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Educação - renatoacs@ufcg.edu.br

RESUMO

O interesse pela eletrodeposição das ligas de cobalto aumentou consideravelmente nos últimos anos, principalmente devido às excelentes propriedades desse metal. O processo da eletrodeposição tem grandes vantagens sobre outros métodos de produção de revestimentos finos e vêm sendo bastante utilizados principalmente na minimização dos problemas causados pela corrosão de dutos. As ligas que contêm cobalto e ferro exibem resistência à corrosão e boas propriedades mecânicas e magnéticas. Neste trabalho estudou-se a eletrodeposição de uma camada fina de Co-Fe sobre um cátodo de cobre. O banho eletrolítico utilizado continha os metais a serem depositados: sulfato de cobalto, sulfato de ferro e amônio, citrato de amônio e sulfato de amônio. Como ferramenta de otimização foi utilizado um planejamento fatorial completo 2², onde se realizaram estudos sobre a influência da densidade de corrente e da temperatura que conduziram às condições ótimas para obtenção desta liga. Foi avaliada a resistência à corrosão, morfologia da superfície, cristalinidade e a microdureza dos revestimentos. As ligas obtidas mostraram brilho e aderência. A liga mostrou boa resistência à corrosão e uma microdureza maior do que outras ligas de cobalto. Palavras-chave: eletrodeposição, corrosão, liga Co-Fe, revestimento, dutos.

1. INTRODUÇÃO

A corrosão é um problema frequente e ocorre em diversas atividades como, por exemplo, nas indústrias químicas e petroquímicas, construção civil e automobilística, meios de transportes (aéreo, ferroviário, metroviário, marítimo e rodoviário), meios de comunicação (sistemas de telecomunicação), dentre outras, trazendo como consequências não somente prejuízos econômicos, mas também podendo causar

graves acidentes tanto para o homem quanto para a natureza, provocando incêndios e contaminação [SANTANA *et. al*, 2010].

O petróleo apresenta uma composição química bastante complexa, sendo formado por vários hidrocarbonetos, dos quais são extraídas várias substâncias utilizadas no dia-a-dia como gás natural, GLP, gasolina, querosene, óleo Diesel, óleos lubrificantes e matérias-primas para a indústria petroquímica. Contudo, ele também apresenta em sua constituição diversas impurezas como

compostos orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados, organometálicos, água, sais minerais e areia. Sendo estas impurezas capazes de conferir ao petróleo um elevado grau de corrosividade [COSULTCHI, 2001; TURNBULL e GRIFFTHS, 2003].

A corrosão causada pelo petróleo é responsável por grande parte dos acidentes que vêm ocorrendo ultimamente, em especial no caso de corrosão de dutos, causando prejuízos incalculáveis ao meio ambiente. Diante desses aspectos faz-se necessário um estudo e aplicação de métodos para amenizar os efeitos causados pela corrosão.

Uma maneira encontrada 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 densidade, dureza, resistência à corrosão, entre outras, superiores àquelas oriundas da eletrodeposição de um simples metal.

O cromo eletrolítico é o mais popular para tais fins e é utilizado para aumentar a resistência dos materiais, porém o processo de produção de tais revestimentos é tóxico e ambientalmente prejudicial [WESTON *et al.*, 2010]. Devido à sua excelente resistência à corrosão, o cobalto é um material com muitas

aplicações na indústria metalúrgica. Ligas de cobalto são normalmente utilizadas em equipamentos de tratamento térmico, tais como réplicas e componentes de turbina a gás (lâminas, turbinas e os discos de compressor), que são sujeitos a tensões rotacionais de longo prazo e altas temperaturas. [KIM *et al.*, 2011]

O processo da eletrodeposição tem grandes vantagens sobre outros métodos de produção de revestimentos finos, tais como, possibilidade de realização de deposição em condições normais de pressão e temperatura. Além disso, é uma técnica relativamente fácil e barata, com a otimização de muitos parâmetros (densidade de corrente, agitação, temperatura, pH, composição do banho e aditivos) que podem ser ajustados para obtenção de revestimentos com melhor qualidade. [THE e YAACOB, 2011]

Hoje em dia, a eletrodeposição das ligas de Co-Fe estão ganhando muita atenção devido às suas aplicações em sistemas microeletroquímicos (MEMS) e em revestimentos de proteção. Vários pesquisadores relataram estudos das propriedades magnéticas das ligas de Co-Fe obtidas por eletrodeposição, nestes estudos filmes finos do grupo do ferro (Co, Ni, Fe, Co-Fe, Ni-Co e Co-Ni-Fe) foram eletrodepositados a partir de banhos utilizando cloretos e sulfatos. [ROZLIN e ALFANTAZI, 2012]

O planejamento fatorial experimental apresenta muitas vantagens sobre os métodos univariantes. Neste método, os fatores são simultaneamente variados ao mesmo tempo e não um-a-um como nos métodos clássicos, permitindo observar as interações antagônicas e a sinergia envolvida nos fatores analisados. Métodos univariantes são incapazes de medirem estas interações e por esta razão não são efetivos como técnicas de otimização.

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) [MURAT, 2002] é uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas usada para desenvolvimento, melhoramento e otimização de processos, e pode ser usada para avaliar a significância relativa de muitos fatores que são afetados por interações complexas. O objetivo principal da MSR é determinar as condições ótimas de operação para um sistema ou determinar uma região que satisfaça as especificações operacionais [RAVIKUMAR *et al.*, 2005].

Este trabalho teve como objetivo a obtenção da liga Co-Fe através da eletrodeposição, otimizando os parâmetros operacionais em função da sua resistência à corrosão e microdureza.

2. METODOLOGIA

Na preparação das soluções foram empregados reagentes com elevado grau de

pureza analítico, que foram preparados com água destilada. A Tabela 1 apresenta a concentração utilizada dos reagentes.

Tabela 1: Composição do banho eletrolítico da liga Co-Fe.

Componente	Concentração(M)
CoSO ₄ .7H ₂ O	0,01
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ .6 H ₂ O	0,005
C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₇	0,25
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,01

O sulfato de cobalto é adicionado ao banho como fonte de cobalto, além de servir como agente indutor para a deposição do ferro. O sulfato de ferro é adicionado como fonte de ferro. O citrato de amônio é utilizado como agente complexante para garantir a estabilidade do banho, assim como o sulfato de amônio é empregado para aumentar a condutividade elétrica dos íons do banho, melhorando a estabilidade deste. O pH do banho foi mantido constante em 8,5, este foi ajustado adicionando-se hidróxido de amônio.

Para a otimização do processo de eletrodeposição da liga de Co-Fe, foi utilizado um planejamento fatorial completo 2², com 2 experimentos no ponto central totalizando 6 experimentos, em triplicata [TSAO e LIU, 2008]. Estes experimentos foram avaliados quantitativamente quanto à influência das variáveis de entrada (densidade de corrente e temperatura do banho eletrolítico) sobre o potencial de corrosão do sistema, bem como

suas possíveis interações com a realização mínima de experimentos.

A Tabela 2 mostra as variáveis utilizadas no planejamento fatorial e suas codificações. Cada variável independente foi investigada para um nível alto (+1) e um baixo (-1). Os experimentos do ponto central (0) foram incluídos na matriz e na análise estatística, para identificar o efeito de cada variável em função do potencial de corrosão. Para a análise da regressão dos dados experimentais foi utilizado o software *Statistica 8.0*.

Tabela 2: Níveis reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial 2²

Variáveis de entrada	Nível (-1)	Nível (0)	Nível (+1)
Densidade de corrente (mA/cm ²)	20	45	70
Temperatura do banho (°C)	30	55	80

O eletrodo de trabalho utilizado foi um substrato de cobre, cortado na forma de um quadrado 2 x 2 cm com área superficial de 8 cm². A preparação do eletrodo de cobre foi dividida em duas etapas: tratamento químico e tratamento mecânico. Foi realizado um tratamento mecânico com três tipos de lixas: 400, 600 e 1200 mesh, em seguida lavou-se com água destilada e secou-o em estufa. O tratamento químico consistiu em mergulhar o

eletrodo numa solução de 10 % de hidróxido de sódio, para a retirada de graxas e superfícies orgânicas solúveis, lavá-lo com água destilada e logo depois mergulhá-lo em uma solução 1 % de ácido sulfúrico para ativar a superfície do eletrodo para o processo de eletrodeposição.

O ânodo utilizado foi uma malha cilíndrica de platina. No processo de eletrodeposição foi utilizado para o controle da densidade de corrente, um potenciostato/galvanostato PGSTAT 30 Autolab e um Software PGES, a temperatura do sistema foi controlada por um termostato MTA KUTESZ MD2, a agitação mecânica (50 rpm) foi conferida na forma de rotação catódica, mediante o uso de um eletrodo rotativo EG&G PARC 616.

Para a análise da composição da liga foi utilizado o aparelho de energia dispersiva de raios-X, Shimadzu (EDX-720).

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados com um microdurômetro digital FM-700 Future Tech. Para cada ponto foram realizadas três medidas, e em cada amostra analisou-se sete pontos, utilizando uma carga de 10 (gf) por 30 segundos. Para avaliar a cristalinidade da liga foram realizados ensaios de difração de raios-x (DRX), para isso, utilizou-se um difratômetro 6000 da Shimadzu.

As medidas eletroquímicas de corrosão foram executadas em uma célula convencional de três eletrodos. Foram realizadas as medidas de polarização potenciodinâmica linear (PPL) utilizando um potenciostato/galvanostato AUTOLAB PG STATE 30 conectado ao software GPES. O eletrodo de trabalho foi o substrato de cobre revestido com a liga eletrodepositada de Co-Fe. O eletrodo de referência utilizado foi de calomelano saturado e todos os potenciais foram referidos a este eletrodo. O contra-eletrodo utilizado foi uma lâmina de platina de 9,5 cm² de área superficial. As curvas de PPL foram obtidas com uma taxa de varredura de 1 mV s⁻¹. Todos os testes de corrosão eletroquímica foram conduzidos no meio corrosivo contendo 0,1 mol/l de NaCl em solução e temperatura ambiente.

Os experimentos de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) foram realizados nos mesmos substratos utilizados nas curvas de polarização. As medidas de EIE foram feitas utilizando um potenciostato/galvanostato AUTOLAB, modelo PGSTAT30, conectado a um computador pelo programa FRA (Frequency Response Analyzer System), com uma frequência de 1 kHz a 4MHz com uma amplitude de 1E-02V a programação desta técnica foi feita através de potenciais extraídos das curvas de polarização. Estes

potenciais correspondiam respectivamente ao potencial de corrosão, potencial em que aconteceu a primeira queda de corrente e potencial do início da passivação das ligas de Co-Fe.

O procedimento adotado consistiu em ensaios de imersão contínua da área interna da célula, em solução aquosa de NaCl 0,1M, sob efeito da polarização nos potenciais selecionados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 está apresentada a matriz do planejamento fatorial, utilizada como ferramenta no processo de otimização dos parâmetros operacionais do sistema de eletrodeposição destas ligas.

Considerando que um valor de probabilidade de 95% de confiança é satisfatório, foi possível estabelecer um modelo linear de 1ª ordem (Equação 1), onde x é a densidade de corrente, y é a temperatura e xy é a interação entre a densidade de corrente e temperatura, apresentando como resposta o efeito das variáveis de entrada no potencial de corrosão (E_{Corr}), cujos valores dos coeficientes foram obtidos pelo programa STATISTICA 8.0. O valor em negrito da Equação 1 corresponde ao efeito significativo do modelo.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

$$E_{\text{Corr}} = -0,6612 - 0,0085x + 0,1292y + 0,0087xy \quad (1)$$

O modelo linear apresentou um coeficiente de regressão (R^2) igual a 79%. A análise de variância, representada na Tabela 4, e de regressão demonstrou a significância estatística do modelo, justificando o emprego do modelo linear para análise estatística.

A Figura 1 apresenta o gráfico de Pareto com um nível de confiança de 95%

Tabela 1: Matriz do planejamento fatorial 2^2 da liga Co-Fe.

Ensaio	Densidade de Corrente (mA/cm ²)	Temperatura (°C)	E_{Corr} (V)	I_{corr} (A/cm ²)	R_p (ohm)
1	-1	1	-0.551	$4,22 \times 10^{-6}$	25710
2	1	1	-0.550	$9,08 \times 10^{-7}$	56390
3	-1	-1	-0.753	$8,12 \times 10^{-6}$	11010
4	1	-1	-0.790	$1,59 \times 10^{-5}$	4916
5	0	0	-0.764	$6,18 \times 10^{-6}$	10860
6	0	0	-0.744	$5,38 \times 10^{-6}$	12510

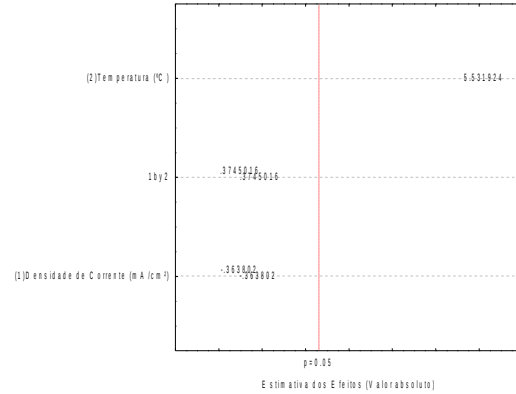
Tabela 2: Dados da análise de variância (ANOVA) para a liga Co-Fe.

Fatores	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F	P
Densidade de corrente	0.000578	1	0.000578	0.13235	0.7254
Temperatura	0.133645	1	0.133645	30.60218	0.0005
Iteração	0.000612	1	0.000612	0.14025	0.7177
Erro	0.034937	8	0.004367	-	-
Soma Quadrática total	0.169772	11	-	-	-

A magnitude de cada efeito foi representada através das barras e uma linha tracejada correspondente ao valor de $p = 0,05$ que indica o quanto deve ser grande o efeito para ter significado estatístico. De acordo com

para o cálculo dos efeitos lineares de primeira ordem para valores absolutos.

Figura 1: Gráfico de Pareto dos efeitos do planejamento fatorial.



o gráfico de Pareto, o efeito significativo foi a temperatura, confirmando deste modo, os dados obtidos na Análise de variância.

Neste intervalo observou-se que a densidade de corrente não teve influência no

processo de eletrodeposição quando a resposta obtida foi o potencial de corrosão (E_{Corr}).

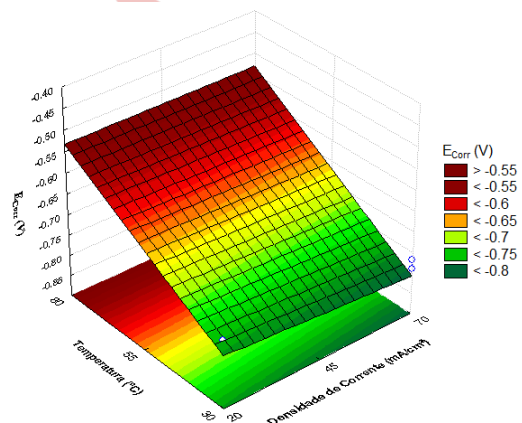
O estudo da temperatura foi realizado nos níveis -1 (30 °C), 0 (55°C) e +1 (80 °C). Os valores ótimos encontrados estão na faixa de 55-80 (°C). Através do planejamento fatorial notaram-se tendências no processo de eletrodeposição da liga Co-Fe e com 95% de confiança podemos afirmar que a temperatura foi a variável que influenciou no processo de eletrodeposição. Observou-se que o aumento da temperatura favoreceu a redução do ferro no depósito e consequentemente a diminuição da temperatura favoreceu a redução do cobalto no depósito.

A Figura 2 mostra o comportamento do potencial de corrosão com relação à variação dos valores da densidade de corrente e temperatura do banho eletrolítico. Com relação à taxa de dissolução do material estudado e resistência à polarização os melhores resultados obtidos foram para os maiores valores da faixa estudada, como representado nas Figuras 3 e 4.

As Figuras 2, 3 e 4 representam as superfícies de resposta que mostram o comportamento do potencial de corrosão, corrente de corrosão (taxa de dissolução) e resistência à polarização, em função da densidade de corrente e temperatura do banho eletrolítico.

Na Figura 2 é observado que apenas a temperatura tem influência no processo de eletrodeposição, tendo como resposta, os melhores potenciais de corrosão para os maiores valores das faixas estudadas.

Figura 2: Superfície de contorno do efeito da densidade de corrente e da temperatura tendo como resposta o potencial de corrosão.



Já a Figura 3 representa o comportamento da taxa de dissolução do material, onde é observado que os melhores resultados (menores taxas de dissolução do material metálico) correspondem aos maiores valores das faixas estudadas, o mesmo comportamento é observado na Figura 4, confirmando assim os dados apresentados na Tabela 3, onde o experimento 2 é o mais satisfatório.

Figura 3: Superfície de contorno do efeito da densidade de corrente e da temperatura tendo como resposta a corrente de corrosão.

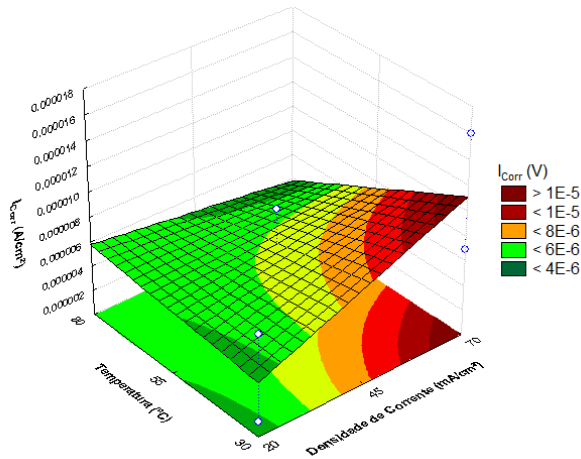
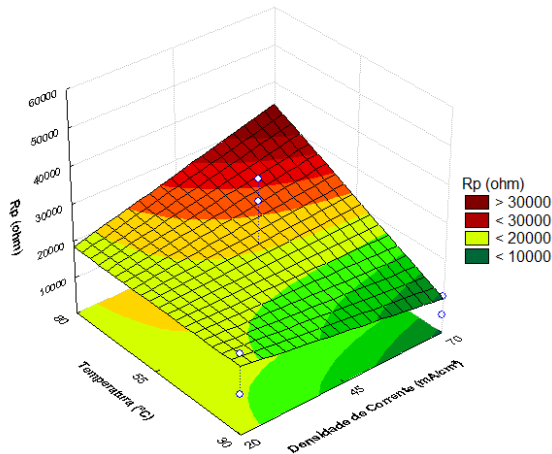


Figura 4: Superfície de contorno do efeito da densidade de corrente e da temperatura tendo como resposta a resistência à polarização.



As ligas metálicas em estudo foram caracterizadas quanto à sua composição química, através dos ensaios de energia dispersiva de raios-x (EDX).

De acordo com os resultados de EDX, que se encontram na Tabela 5, em wt. % de cada metal, os melhores resultados para o potencial de corrosão contêm maior concentração de cobalto, quando comparado com os outros ensaios. Já para os resultados menos satisfatórios, menor quantidade de cobalto. O aumento na concentração de

cobalto no depósito pode provocar o aumento de tensões residuais que podem provocar fraturas no depósito, deixando dessa forma o depósito quebradiço. Isso está fundamentado no fato de que o cobalto é um metal mais duro que o ferro. Os depósitos que possuem maior concentração de cobalto possuem maior dureza.

Tabela 3: Dados da análise de energia dispersiva de raios-x (EDX) e microdureza da liga Co-Fe.

Ex p	Densidade de Corrente (mA/cm ²)	Temperatura (°C)	wt.% Co	wt.% Fe	Dureza (HV)
1	-1	1	57	43	396
2	1	1	63	37	448
3	-1	-1	54	46	257
4	1	-1	59	41	625
5	0	0	57	43	345
6	0	0	56	44	349

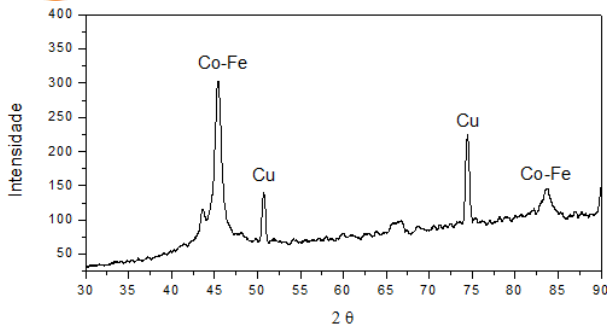
A Figura 5 mostra um difratograma de raios-x (DRX) e a partir dele observa-se que a liga obtida é parcialmente amorfa, isto é caracterizado pelos picos de 45° e 83°. [GURMEN *et al.*, 2009; HYIE *et al.*, 2013]

Figura 5: Difração de raios-x da liga Co-Fe.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

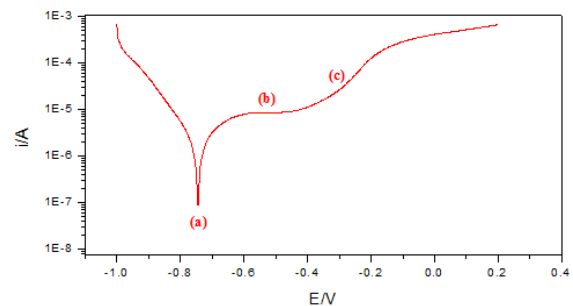


As propriedades de dureza e resistência à corrosão são as principais características de uma liga metálica e a composição das ligas afeta diretamente essas propriedades.

A partir da composição química e dureza de cada ensaio, que está representado na Tabela 5, é possível verificar a influência da composição química na dureza da liga, observa-se que o ensaio 4 apresentou a maior dureza seguido do ensaio 2, verificando desse modo que os dois ensaios possuem maior quantidade de cobalto, logo o aumento da dureza é atribuído a maior quantidade de cobalto na liga. [CHEUNG *et al*, 1995; SRIRAMAN, RAMAN e SESHADRI, 2007].

O comportamento da corrosão das ligas de Co-Fe, foi avaliado usando as técnicas de polarização potenciodinâmica linear (PPL) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE). A extrapolação das curvas de Tafel foi utilizada para determinar o potencial de corrosão (E_{corr}) e a resistência de polarização (R_p). A Figura 6 mostra a curva de polarização potenciodinâmica linear da liga de Co-Fe.

Figura 6: Curva de polarização da liga Co-Fe.



No ponto (a) marcado na curva de polarização é obtido o potencial de corrosão da liga com valor igual a $-0.744V$, no ponto (b) da curva foi observada a formação do filme de passivação e no ponto (c) da curva é a região de transpassivação onde ocorre a dissolução da liga.

As medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) são aplicadas por um potencial AC na célula, medindo a corrente que passa através do sistema. O gráfico de Nyquist representa as medidas de impedância, onde o eixo X representa a parte real e o eixo Y, a parte imaginária dessas medidas. Cada ponto no gráfico de Nyquist representa a impedância para uma frequência em particular.

Foram realizadas medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica para obter informações detalhadas sobre a resistência à corrosão e dessa forma confirmar os resultados obtidos pela curva de PPL do estudo da liga Co-Fe. As medidas de impedância foram realizadas nos pontos a, b e



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

c marcados na curva de PPL da Figura 6. As análises de EIE indicaram que o máximo valor de impedância (Z) foi obtido para maiores valores de temperatura e para os maiores valores de densidade de corrente. Os diagramas de impedância confirmam os resultados obtidos pelas curvas de polarização.

A Figura 7 mostra o diagrama de impedância eletroquímica do potencial de corrosão, este diagrama possui comportamento característico de processo de transferência de carga.

A Figura 8 representa o diagrama característico do processo de passivação correspondente ao ponto (b) da curva de polarização mostrada na Figura 6, e o resultado confirma o comportamento. Pode-se observar um aumento no valor da impedância com relação ao ponto (a). A Figura 9 mostra o diagrama de impedância que possui comportamento característico do processo de dissolução de filmes metálicos (transpassivação) e este resultado confirma o resultado obtido pela curva de polarização.

Foi observada uma diminuição significativa no valor da impedância (resistência de polarização), caracterizando desta forma, a diminuição da resistência à corrosão provocada pela dissolução do revestimento.

Figura 7: Diagrama de impedância relacionado ao ponto (a) da liga de Co-Fe.

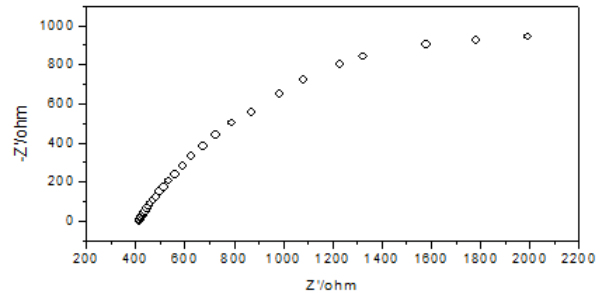


Figura 8: Diagrama de impedância relacionado ao ponto (b) da liga de Co-Fe.

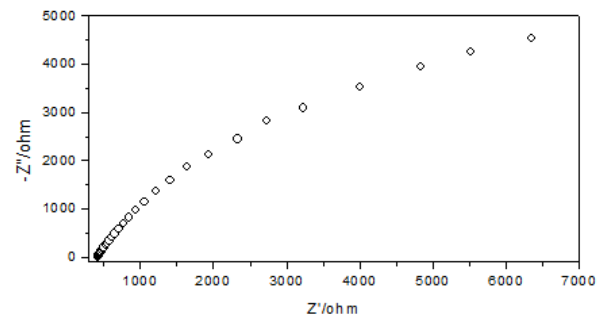
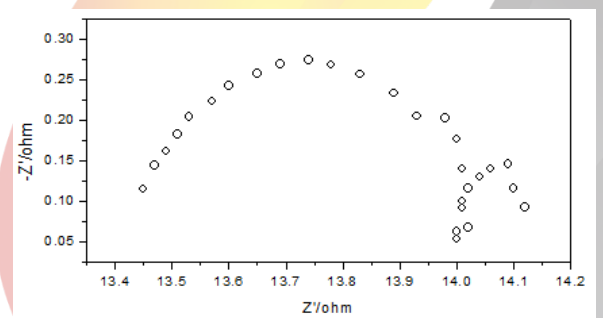


Figura 9: Diagrama de impedância relacionado ao ponto (c) da liga de Co-Fe.



4. CONCLUSÕES

Foi obtida com sucesso por meio da eletrodeposição uma liga binária de Co-Fe. Para o estudo realizado, dentro da faixa de

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

variáveis propostas, os valores ótimos encontrados foram densidade de corrente de 70 mA/cm² e temperatura de 80 °C alcançando um potencial de corrosão -0,550 V.

Quanto à aparência do depósito, a liga obtida com as condições ótimas de composição do banho referente à melhor resistência de polarização apresentou boa aderência e brilho. A composição média do melhor depósito foi 63 wt.% de Co e 37 wt. % de Fe, com uma microdureza de Vickers de 448 HV. A maior microdureza encontrada foi de 625 HV.

Através dos ensaios de impedância, foi confirmado o comportamento dos ensaios de polarização potenciodinâmica linear, onde a liga possui tendência a formar um filme de passivação antes de sua total dissolução.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEUNG, C.; DJUANANDA, F.; ERB, U.; PALUMBO, G. *Electrodeposition of nanocrystalline Ni-Fe alloys*. Nanostructured Materials, v.5, p.513-523, 1995.

COSULTCHI, A., GARCIAFIGUEROA, E., GARCIA-BORQUEZ, A., REGUERA, E., YEEMADEIRA, H., 2001, *Petroleum Solid Adherence on Tubing Surface*. Fuel, vol. 80, pp. 1963-1968.

GURMEN, S.; GUVEN, A.; EBIN, B.; STOPIĆ, SRE.; FRIEDRICH, B.; *Synthesis of nanocrystalline spherical cobalt-iron (Co-Fe) alloy particles by ultrasonic spray pyrolysis and hydrogen reduction*. Journal of Alloys and Compounds, v.481, p.600-604, 2009.

HYIE, H. M., ABDULLAH, W. N. R., RESALI, N. A., CHONG, W. T., SALLEH, Z., GHANI, M. A. A. *The Physical and Magnetic Properties of Electrodeposited Co-Fe Nanocoating with Different Deposition Times*. Hindawi Publishing Corporation. Journal of Nanomaterials, Article ID 680491, 2013.

KIM, K. H., LEE, S. H., NAM, N. D., KIM, J. G. *Effect of cobalt on the corrosion resistance of low alloy steel in sulfuric acid solution*. Corrosion Science, vol.53, p. 3576-3587, 2011.

MURAT, E. *Response surface methodological approach for inclusion of perfluorocarbon in actinorhodin fermentation medium*. Process Biochemistry, vol. 38 pp. 667-673, 2002.

RAVIKUMAR, K.; PAKSHIRAJAN, K.; SWAMINATHAN, T.; BALU, K.

Optimization of batch process parameters using response surface methodology for dye removal by a novel adsorbent. Chemical Engineering Journal, vol.105, pp. 131–138, 2005.

ROZLIN, N. M. N., ALFANTAZI, A. M. *Nanocrystalline Cobalt-Iron Alloy: Synthesis and Characterization.* Materials Science and Engineering A. p. 1-23, 2012.

SANTANA, R.A.C.; CASCIANO, P.N.S.; OLIVEIRA, A.L.M.; NASCIMENTO, I.O.; SILVA, T.F.T.; CAMPOS, A.R.N.; PRASAD, S. *Otimização dos constituintes do banho eletroquímico da liga Ni-Mo obtida por eletrodeposição.* Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.5.2, p.01-11, 2010.

SRIRAMAN, K.R.; RAMAN, S. GANESH SUNDARA; SESHADRI S.K. *Influence of crystallite size on the hardness and fatigue life of steel samples coated with electrodeposited nanocrystalline Ni-W alloys.* Mater Lett, v.61, p.715-718, 2007.

TEH, S. H., YAACOB, I. I. *Synthesis and Characterization of Co-Fe Nanocrystalline*

Magnetic Films Electrodeposited From Electrolyte Solution Containing Sodium Saccharin. IEEE Transactions on Magnetics, vol. 47, p. 4398-4401, 2011.

TSAO, H. -S. J., LIU, H. *Optimal sequencing of test conditions in 2^k factorial experimental design for run-size minimization.* Computers & Industrial Engineering. Vol. 55, pp. 450-464, 2008.

TURNBULL, A., GRIFFITHS, A. *Corrosion and Cracking of Weldable 13 wt-%Cr Martensitic Stainless Steels for Applications in the Oil and Gas Industry.* Corrosion Engineering, Science and Technology. Vol. 38, N° 1, pp.21-49, 2003.

WESTON, D.P., HARRIS, S.J., SHIPWAY, P.H., WESTON, N.J., YAP, G.N. *Establishing relationships between bath chemistry, electrodeposition and microstructure of Co-W alloy coatings produced from a gluconate bath.* Electrochimica Acta, vol.55, p.5695–5708, 2010.