

## **ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA**

RENATA DE OLIVEIRA MARINHO<sup>1\*</sup>; MARCELO BATISTA QUEIROZ<sup>2</sup>;  
EUDÉSIO OLIVEIRA VILAR<sup>3</sup>; MÁRCIA CRISTINA DE SOUSA<sup>4</sup>; JOÃO MARCOS AZEVEDO DE OLIVEIRA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia Civil, UFERSA, Caraúbas-RN, renataoliveiramm@gmail.com;

<sup>2</sup>Dr. em Engenharia Química, Prof. Titular, UFERSA, Caraúbas-RN, marcelo.queiroz@ufersa.edu.br;

<sup>3</sup>Dr. em Engenharia Química, Prof. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, eudesio.vilar@ufcg.edu.br;

<sup>4</sup>Ma. em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande-PB, marciacristina@hotmail.com;

<sup>5</sup>Estudante de Engenharia Civil, UFERSA, Caraúbas-RN, j\_marcos.azevedo@hotmail.com;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a resistência a corrosão de amostras metálicas que foram submetidas ao processo galvânico de banhos de ZnNi e ZnFe. Todas as amostras estudadas neste trabalho foram submetidas aos ensaios: Potencial de corrosão em função do tempo – EVT, Resistência a Polarização (Rp) e Taxa de Corrosão (CR) e Corrosimetria. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a placa galvanizada com ZnFe apresentou o menor valor de Rp, mostrando uma maior suscetibilidade à processos corrosivos quando comparada a ZnNi. O teste de EVT mostrou que a amostra de ZnFe mostrou o maior potencial corrosivo que a de ZnNi. A corrosimetria apresentou o ZnNi com os melhores resultados de resistência a polarização (Rp), ou seja, mais resistentes que a amostra de ZnFe. De forma geral, este trabalho indicou qual liga dentre as amostras comparadas, apresentou uma melhor ou pior resistência a corrosão, mostrando que o revestimento de ZnNi é o mais adequado para meios muito corrosivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Galvanoplastia; Ensaios eletroquímicos; corrosão.

### **CORROSION ANALYSIS OF STEEL 304 WHEN SUBJECTED TO ELECTROPLATING PROCEDURE**

**ABSTRACT:** This work has as general objective to evaluate a corrosion resistance of metallic samples that were submitted to the galvanic process of ZnNi and ZnFe baths. This consisted of a comparative study between the samples of ZnNi and ZnFe, through electrochemical tests, to analyze a resistance to corrosion and verify the quality of the products and services for the corrosive media. All samples studied in this work were submitted to tests: Corrosion potential as a function of time - EVT, Polarization Resistance (Rp) and Corrosion Rate (CR) and Corrosimetry. According to the obtained results, it can be concluded that the galvanized plate with ZnFe presented the lowest value of Rp, showing a greater susceptibility to corrosive processes when compared to ZnNi. The EVT test showed a ZnFe sample showed the highest corrosive potential of ZnN. Corrosimetry showed ZnNi with better polarization resistance (Rp) results, that is, more resistant than a ZnFe sample. In general, this type of work can be used as compared samples, presented a better or more corrosion resistant, showing that the coating of ZnNi is the most suitable for corrosion very means.

**KEYWORDS:** Electroplating; Electrochemical tests; Corrosion.

### **INTRODUÇÃO**

O estudo da corrosão de superfícies vem se tornando bastante importante e a busca por soluções está cada vez mais indispensável. Todos os materiais possuem uma interação com o meio ambiente, e essa interação faz com que os mesmos sofram alterações químicas e eletroquímicas. Para Helene (1993), a corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas

ou mecânicas de degradação.

Sendo assim, as indústrias começaram a adotar vários métodos de prevenção, e atualmente tanto nos produtos acabados quanto no processo de fabricação intermediário, a utilização de revestimentos protetores tornou-se um pré-requisito (FIGUEIREDO,2010). De acordo com Realum 2012, a galvanoplastia é procedimento/tratamento de superfície que consiste em depositar um metal sobre o outro, através da redução química ou eletrolítica.

Há dois banhos galvânicos que se mostrou com propriedades anticorrosivas singulares, o banho de ZnNi e ZnFe. Os mesmos têm excelente cobertura e resistência anticorrosiva e seu processo de zincagem, em trabalho, se dá por meio da galvanização eletrolítica. Entretanto, como todo material, estão sujeitos a ações de degradações do meio.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência a corrosão de amostras metálicas do aço 304 que foram submetidas ao processo galvânico de banhos de ZnNi e ZnFe.

## MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizadas amostras do aço 304, onde foram submetidas ao processo galvânico de banhos de ZnNi e ZnFe para, posteriormente, avaliar a resistência a corrosão das amostras por meio de ensaios eletroquímicos. As amostras já se encontravam galvanizadas com ZnNi (Figura 1) e ZnFe (Figura 2) e cortadas em dimensões 5x5 (cm) que equivalem a uma área de 25 cm<sup>2</sup>, para a realização dos testes.

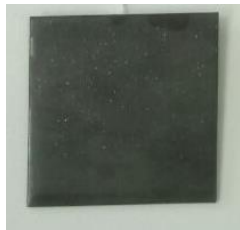


Figura 1: Banho ZnNi. Fonte: O autor



Figura 2: Banho ZnFe. Fonte: O autor.

Na avaliação da corrosão metálica da amostra, foi aplicada as seguintes técnicas eletroquímicas:

- Resistência a Polarização (Rp) e Taxa de Corrosão (CR);
- Corrosimetria;
- Potencial de corrosão em função do tempo – EVT;

### Resistência a Polarização (Rp) e Taxa de Corrosão (CR)

Na Figura 3 está representado o esquema utilizado para os experimentos de polarização

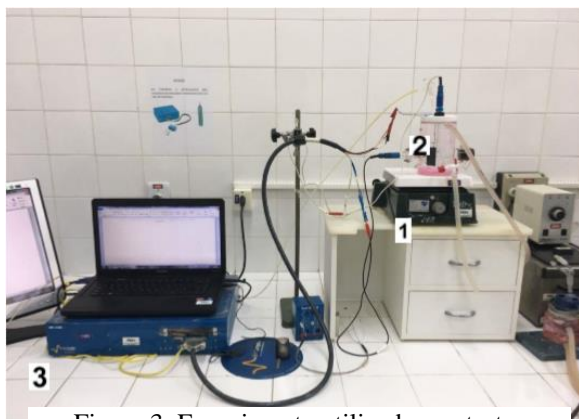


Figura 3: Experimento utilizado nos testes eletroquímicos de corrosão. Fonte: O autor.

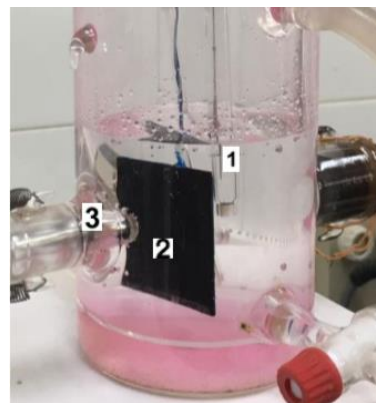


Figura 4: Célula eletroquímica com três eletrodos. (1) Eletrodo de referência (SCE), (2) Eletrodo de trabalho (amostra), (3) Eletrodo auxiliar de platina. Fonte: O autor.

Os testes realizados foram dirigidos em uma célula eletroquímica com montagem de três eletrodos (Figura 4). Utilizou-se um eletrodo de calomelano (SCE) como eletrodo de referência, um contra-eletrodo de platina e um eletrodo de trabalho. O eletrólito utilizado foi uma solução de cloreto de sódio 0,2 mol.L<sup>-1</sup>. A célula foi nitrogenada 50 minutos antes do início das análises eletroquímicas, para ocorrer toda a remoção de oxigênio dissolvido no eletrólito. A nitrogenação foi mantida até o final do teste.

Todos os eletrodos foram conectados diretamente nos terminais do potenciostato e, por meio do EC-Lab Software – Techniques and Applications, version 10.37, obteve-se os dados necessários para a análise corrosiva. A polarização linear foi feita com uma velocidade de varredura de 0,8 mV/s, a faixa de varredura foi obtida através da norma ASTM G 59 – 97. Para determinação do intervalo de varredura calcula-se um  $E_{we} \pm 30$  mV.

### Potencial de Corrosão em função do tempo (EVT)

No ensaio de potencial de corrosão em função do tempo (EVT), foi usada uma nova amostra de ZnFe e ZnNi. As amostras foram colocadas em placas de petri submersas em uma solução de cloreto de sódio 0,2 mol.L<sup>-1</sup>.

Foram realizadas as medições com um multímetro de precisão da marca Agilent, modelo U1253B e um eletrodo de referência de Prata (Ag/AgCl). Segue uma imagem do esquema experimental para a análise em questão (Figura 5).

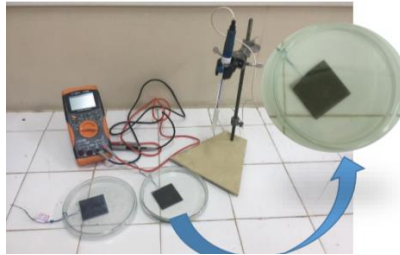


Figura 5: Material utilizado para os testes de potencial de corrosão em função do tempo. Fonte: O autor.

### Corrosimetria

O ensaio de corrosimetria foi realizado empregando o mesmo mecanismo e condições funcionais que aquele apresentado na Figura 3. O intervalo de varredura foi calculado a partir do potencial de circuito aberto ( $E_{we} \pm 30$  mV). Foram feitas 15 curvas de polarização linear com intervalo de 10 minutos de espera entre uma varredura e outra. Cada curva de polarização linear teve o seu  $R_p$  calculado e em seguida plotado um gráfico de  $R_p$  (Ohm) versus tempo (minutos).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Potencial de Corrosão em função do tempo (EVT)

As variações do potencial eletroquímico de corrosão (EVT) para a amostra de ZnFe e ZnNi, estão representadas nas Figuras 6 e 7.

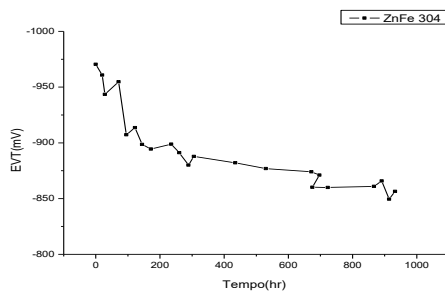


Figura 6: Gráfico de  $E_{we}$  vs. (Hg/HgSO<sub>4</sub>) em função do tempo, em NaCl 0,2 mol.L<sup>-1</sup>. Amostra galvanizada com ZnFe.

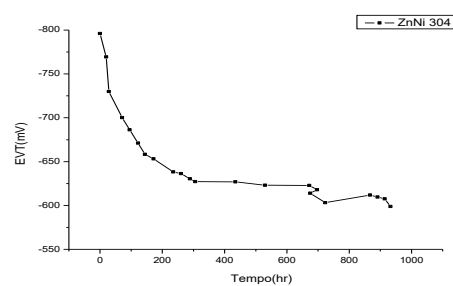


Figura 7: Gráfico de  $E_{we}$  vs. (Hg/HgSO<sub>4</sub>) em função do tempo, em NaCl 0,2 mol.L<sup>-1</sup>. Amostra galvanizada com ZnNi.

Conforme mostrado na Figura 6 é possível observar que a amostra de ZnFe mostra um potencial inicial de aproximadamente -970 mV. A amostra mostrou uma diminuição de potencial até a faixa de -875 mV com duração de 220 horas, a partir deste momento a amostra mostrou um comportamento pouco menos variável, tendendo a linearidade. Esse comportamento teve uma duração de 660 horas. A amostra de ZnNi apresentada na Figura 7 mostra um comportamento um pouco semelhante. Observou-se um potencial inicial em torno de -800 mV e, em seguida a diminuição do potencial até a faixa de -625 mV com um intervalo de tempo de 250 horas, a partir deste momento a amostra mostrou um comportamento que tende a linearidade com duração de 420 hora.

As diferenças entre o comportamento das amostras se mostra pelo fato de uma iniciar a formação da camada passiva mais rapidamente que a outra. E isso acarreta uma diminuição no potencial corrosivo

da amostra, já que a camada passiva se comporta como isolante impedindo a transferência de elétrons nas reações de oxidação do metal. Quando comparadas as curvas das amostras uma importante característica é notada, a amostra de ZnFe apresenta uma estabilização final de potencial corrosivo mais alto (-856,5 mV) que a amostra de ZnNi (-598,8), e isto mostra que a formação da camada passiva do ZnFe é mais lenta que a ZnNi.

As duas amostras apresentaram diminuição do potencial de corrosão assim que imergidas no eletrólito, até atingir a sua estabilização definindo a formação da camada passiva sobre a superfície da amostra. A amostra de ZnNi apresenta um potencial inicial menor do que a do ZnFe.

### Resistência à Polarização ( $R_p$ ) e Taxa de Corrosão (CR)

Os potenciais de varredura iniciais ( $E_i$ ) e finais ( $E_f$ ) foram determinados com base no potencial de circuito aberto, segundo a ASTM G59-97(2009) – Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements, variando  $\pm 30$  mV. Os valores obtidos se encontram na **Tabela 1**.

Tabela 1: Potenciais da amostra de ZnNi e ZnFe.

Amostra	$E_{CA}$ (V)	$E_i$ (V)	$E_f$ (V)
ZnFe	- 0,991	-1,021	- 0,961
ZnNi	- 0,820	- 0,850	- 0,790

No momento em que o potencial aplicado pelo potenciostato é igual ao potencial de corrosão de cada amostra nenhuma corrente é detectada pelo aparelho, pois neste potencial a corrente anódica é totalmente neutralizada pela corrente catódica. (WOLYNEC, 2003)

Para se obter os valores de corrente de corrosão, coeficientes de Tafel e potencial de corrosão traça-se uma tangente no ponto onde a corrente é nula ( $I = 0$  A) e logo após, aplica-se a função logarítmica.

Baseado no método de extrapolação das retas de Tafel, foram encontradas as constantes de Tafel anódica ( $b_a$ ) e catódica ( $b_c$ ). Calculou-se o valor da resistência de cada amostra segundo a lei de Ohm, onde é dita que a razão entre a tensão e a corrente é uma constante conhecida como resistência. Quando se plota um gráfico de corrente (I) versus o potencial (E) há uma relação linear do potencial de  $\pm 30$  mV. De acordo com equação de ohm semelhante a uma equação do primeiro grau, a resistência é o coeficiente angular da reta gerada. No caso da polarização linear, quando o mesmo gráfico de potencial versus a corrente é plotado não irá gerar, necessariamente, uma reta e isso significa que a resistência resultante da polarização não é constante, sendo a mesma variável.

A partir disso, foi possível determinar as correntes de corrosão e os potenciais de corrosão de cada amostra. Os coeficientes de Tafel ( $b_a$  e  $b_c$ ) obtidos estão dispostos na **Tabela 2** abaixo. O peso equivalente calculado de acordo com ASTM G 102 – 89 e as densidades das ligas dispostas na **Tabela 3**.

Tabela 2: Valores obtidos de  $b_a$  e  $b_c$  na curva de Tafel.

Amostra	$b_a$ (mV)	$b_c$ (mV)
ZnFe	21,5	24,8
ZnNi	22,2	19,7

Tabela 3: Dados obtidos de densidade ( $\rho$ ) e peso equivalente (EW) das amostras.

Amostra	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	EW (g)
ZnFe	7,505 g/cm <sup>3</sup>	33,927
ZnNi	8,90 g/cm <sup>3</sup>	g/mol
		-

Os dados obtidos para resistência polarização ( $R_p$ ), corrente ( $I_{cor}$ ), potencial ( $E_{cor}$ ) e taxa de corrosão (CR) estão dispostos na **Tabela 4**.

Tabela 4: Dados obtidos para  $R_p$ ,  $I_{cor}$  e  $E_{cor}$  das amostras.

Amostra	$R_p$ (Ohm)	$I_{cor}$ ( $\mu$ A)	$E_{cor}$ (mV)
ZnFe	94,16	2,12	-999,086
ZnNi	575,5	4,957	-827,908

De acordo com a **Tabela 4**, a amostra de ZnNi obteve uma resistência a polarização ( $R_p$ ) de 575,5 Ohm, enquanto a de ZnFe obteve 94,16 Ohm. A amostra de ZnNi apresenta uma resistência a polarização significativamente maior que a de ZnFe, indicando que ZnFe é mais suscetível a meios corrosivos quando comparada com a ZnNi.

### Corrosimetria

O objetivo da corrosimetria é acompanhar e analisar os valores padrões de corrosão (resistência a polarização, corrente e potencial de corrosão) em função do tempo. Neste teste,

plotou-se uma curva de polarização linear a cada 10 minutos, logo após cada uma delas o  $R_p$  é calculado. Este procedimento repetiu-se por 15 vezes.

Obtidos os 15 dados de  $R_p$ , em função do tempo, foi gerado um gráfico condizente com cada amostra analisada. Abaixo está representado os gráficos de  $R_p$  em função do tempo para a amostra de ZnFe (Figura 8) e ZnNi (Figura 9).

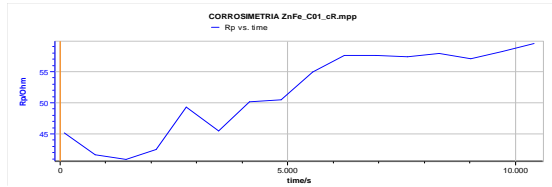


Figura 8: Gráfico de  $R_p$  em função do tempo.  
Amostra de ZnFe.

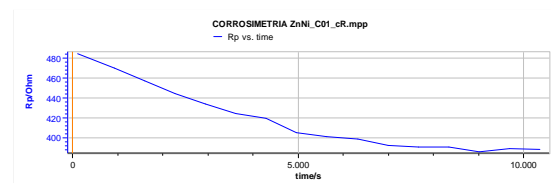


Figura 9: Gráfico de  $R_p$  em função do tempo.  
Amostra de ZnNi.

Segundo Queiroz 2014, a resistência à polarização é inversamente proporcional à capacidade do material se corroer, ou seja, quanto maior os valores da resistência, menor é a capacidade de o material oxidar. De acordo com os gráficos acima dentre as amostras analisadas, a ZnNi (Figura 9) foi a que mostrou os maiores valores de  $R_p$ , apesar de seu decrescimento, tendo como valor inicial 483,5 Ohm e o final de aproximadamente 390,5 Ohm, mostrando que a amostra possui uma alta resistência a corrosão. A amostra de ZnFe (Figura 8) iniciou com o valor de 45,5 Ohm e com um comportamento crescente durante os 327 minutos de análises finalizou com aproximadamente 60 Ohm. O aumento da resistência na amostra do ZnFe, pode ser dar pelo fato da formação rápida da camada passiva em cada ciclo do teste de corrosimetria.

## CONCLUSÃO

De acordo com as análises feitas, foi possível obter informações importantes através dos resultados encontrados. Os resultados apresentados e as discussões pertinentes conduziram às seguintes conclusões:

- De acordo com os testes eletroquímicos, a placa galvanizada com ZnFe apresentou o menor valor de  $R_p$ , mostrando uma maior suscetibilidade à processos corrosivos quando compara com a amostra de ZnNi;
- O teste de EVT mostrou que a amostra de ZnFe mostrou o maior potencial corrosivo que a de ZnNi;
- O teste de corrosimetria mostrou que a amostra de ZnNi apresentou valores de  $R_p$ , consideravelmente, mais altos que a de ZnFe salientando sua resistência a corrosão;

De forma geral, este trabalho indicou qual liga dentre as amostras comparadas, apresentou uma melhor ou pior resistência a corrosão, mostrando que o revestimento de ZnNi é o mais adequado para meios muito corrosivos, como solução salina de cloreto de sódio, por exemplo comprovando a fundamentação teórica a respeito do mesmo.

## REFERÊNCIAS

- ASTM G 59 – 97 “Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements.” Reapproved 2003.
- ASTM G 102 – 89 “Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements.” Reapproved 1999.
- Helene, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Queiroz, M. B. de. Estudo comparativo da corrosão em grades utilizadas em baterias de chumbo-ácido, formadas em processos de fundição e laminação. 2014. 141 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade federal de campina grande. Campina Grande.
- Realum. Galvanoplastia/Tratamento de Superfície. Disponível em: <<http://www.realum.com.br/galvanoplastia.php>> Acesso em 25 de abr. 2018.
- Wolyneq, S. Técnicas Eletroquímicas em Corrosão - São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.