

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

**Avaliação da atividade anticorrosiva de derivados da classe 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilaminas frente ao aço carbono em meio ácido**  
Frauches-Santos, Cristiane<sup>a</sup>, Echevarria Aurea<sup>b</sup>

**Abstract**

Corrosion is causing major problems in various activities as well as great material damage. This study examined hydroxy-substituted heterocyclic compounds of the 1,3,4-thiadiazole-2-phenylamine class in chloridrate form, thus aiming to synthesize new thiadiazole derivatives and investigate their anti-corrosive performance using electrochemical experimental techniques in acidic medium on AISI 1020 carbon steel. The methods to evaluate the corrosion activity were: potentiodynamic polarization, linear polarization resistance and electrochemical impedance spectroscopy. Results for inhibition efficiency, using the three electrochemical techniques, presented an improvement at the concentration of  $3.15 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>. The results showed that the use of thiadiazole chloridrate is a promising alternative in inhibiting corrosion of AISI 1020 carbon steel in acidic solution.

**Keywords:** thiadiazole, steel, anticorrosion activity, electrochemical impedance spectroscopy, potentiodynamic polarization.

**Resumo**

A corrosão é a causadora de grandes problemas nas mais variadas atividades e provoca grandes prejuízos materiais. Neste trabalho foram avaliados compostos heterocíclicos da classe 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilamina hidróxi-substituídos na forma de cloridratos. Portanto, o objetivo deste foi sintetizar novos derivados tiadiazólicos e investigar seu comportamento anticorrosivo utilizando as técnicas experimentais eletroquímicas em meio ácido com aço carbono AISI 1020. Os métodos empregados para avaliação da atividade anticorrosiva foram: polarização potenciodinâmica, resistência de polarização linear e espectroscopia de impedância eletroquímica. Os resultados obtidos para eficiência de inibição, nas três técnicas eletroquímicas utilizadas foram correlacionados e, mostraram que a concentração de  $3,15 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup> apresentava a melhor inibição frente a corrosão. Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização dos cloridratos tiadiazólicos se apresenta como alternativa promissora na inibição à corrosão de aço carbono AISI 1020 em solução ácida.

**Palavras-chave:** tiadiazol, aço, atividade anticorrosiva, espectroscopia de impedância eletroquímica, polarização potenciodinâmica.

<sup>a</sup> Mestre, Química Industrial – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

<sup>b</sup> PHD, Química – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

---

## Introdução

---

O aço-carbono é largamente utilizado nas indústrias químicas, petroquímicas e indústrias de petróleo por causa de seu baixo custo, elevada resistência mecânica e estabilidade térmica (1). As soluções de ácidos são amplamente utilizadas para a remoção de ferrugem em vários processos industriais (decapagem ácida, limpeza ácida industrial, limpeza de equipamentos de refinaria de petróleo, entre outros), provocando corrosão e, resultando em grandes perdas econômicas e grandes problemas nas mais variadas atividades (2, 3).

Para reduzir a corrosão por ataque do ácido na superfície metálica são adicionados inibidores nas soluções ácidas. O uso de compostos orgânicos como inibidores de corrosão, geralmente, contendo heteroátomos (tais como N, O, S e P), anéis aromáticos e/ou,  $\pi$  elétrons são muito utilizados devido as suas adsorções sobre a superfície do metal através da formação de uma ligação covalente coordenada (adsorção química) ou por interação eletrostática entre o metal e o inibidor (adsorção física) (3, 4).

Nos últimos anos, estudos relatam como inibidores orgânicos de corrosão a eficiência de compostos heterocíclicos, como cloretos mesoiônicos (5, 6, 7, 8), que pode estar relacionada a presença de átomos de nitrogênio e enxofre que são geralmente mais ativos quando comparados a compostos com oxigênio (4).

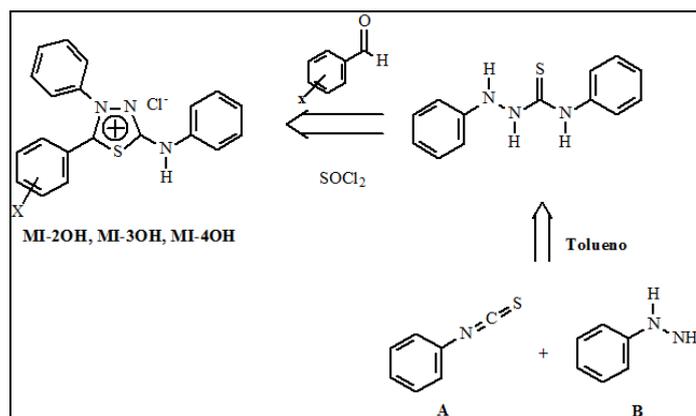
Neste trabalho avaliou-se as propriedades inibidoras dos cloretos heterocíclicos da classe 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilamina substituídos com grupos hidroxila na inibição da corrosão do aço carbono AISI 1020 em soluções de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, usando técnicas eletroquímicas de polarização potenciodinâmica (PP), resistência a polarização linear (RPL) e de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE).

---

## Metodologia

---

Para realizar a síntese dos cloretos heterocíclicos utilizou-se 1,4-difenil-tiossemicarbazida como intermediário obtida a partir da reação do isotiocianato de fenila (A) com fenil-hidrazina (B) em tolueno e sob refluxo. Após a obtenção da 1,4-difenil-tiossemicarbazida, esta foi adicionada aos aldeídos hidróxi-substituídos em 1,4-dioxano para homogeneizar a mistura de reação. Posteriormente, foi adicionado cloreto de tionila em excesso, atuando como ácido de Lewis. A mistura foi submetida à irradiação em forno de micro-ondas por 15 minutos na potencia de 1100 kW (9). A Figura 1 mostra o esquema de retrossíntese para a obtenção dos compostos.



**Figura 1. Rota retrossintética para a obtenção dos cloridratos heterocíclicos.**

Para avaliação do efeito anticorrosivo foram utilizadas técnicas eletroquímicas. Preparou-se soluções estoques dos cloretos heterocíclicos nas concentrações de  $3,15 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ;  $9,4 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ;  $1,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ;  $2,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ;  $3,15 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  em soluções de  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  de HCl. Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente utilizando em uma cela eletroquímica com três eletrodos: um eletrodo de trabalho de aço carbono AISI 1020 com  $0,986 \text{ cm}^2$  de área de superfície, um eletrodo auxiliar de platina e um eletrodo de referência prata/cloreto de prata (Ag/AgCl). As medidas foram realizadas no equipamento potenciostato/galvanostato AUTOLAB, modelo PGSTAT, e os dados obtidos nos ensaios de PP, RPL e EIE foram analisados usando o software NOVA 1.9.

As medidas de polarização foram realizadas com uma velocidade de varredura de  $1 \text{ mV s}^{-1}$  na gama de potencial entre  $\pm 200 \text{ mV}$  em torno do potencial de corrosão ( $E_{\text{corr}}$ ). As medições de nos ensaios de EIE foram realizadas em potenciais de corrosão ( $E_{\text{corr}}$ ), num intervalo de  $0,1 - 100.000 \text{ Hz}$ , com uma amplitude de  $10 \text{ mV}$  pico a pico, utilizando um sinal de corrente alternada. Nos ensaios de RPL, foram aplicados na OCP potenciais na faixa de  $-10 \text{ mV}$  a  $+10 \text{ mV}$ . A resistência à polarização ( $R_p$ ) do aço carbono foi obtida pela inclinação da reta, e esse valor foi relacionado com a resistência à corrosão do material.

## Resultados e discussão

Os cloridratos heterocíclicos avaliados neste trabalho com substituintes de natureza eletrônica de doadores de elétrons, grupo hidróxi, em diferentes posições (*orto*, *meta* e *para*), mostraram eficiência de inibição anticorrosiva.

Através das técnicas eletroquímicas, foram analisados os compostos MI-2OH, MI-3OH e MI-4OH. As eficiências de inibição, nas diferentes concentrações dos inibidores, foram calculadas utilizando a equação 1 (10).

$$\eta_{\text{LPR}} (\%) = (i_0 - i_1/i_0) \times 100 \quad (1)$$

onde  $i_0$  e  $i_1$  são as densidades de corrente de corrosão na ausência e na presença do inibidor, respectivamente.

Observando-se as curvas de PP (Figura 2) pode-se notar que, com o aumento da concentração de todos os agentes inibidores, os valores da densidade de corrente da corrosão ( $i_{\text{corr}}$ ) diminuíram. Esta diminuição da  $i_{\text{corr}}$  na presença do inibidor pode ser devido à adsorção dos cloridratos heterocíclicos sobre a superfície do aço carbono. De acordo com as curvas de PP, a presença dos inibidores promoveu uma redução tanto da densidade de corrente anódica quanto na catódica, sendo mais acentuada na região anódica, e um deslocamento da  $E_{\text{corr}}$  na direção anódica. Estes resultados indicam que a adição dos inibidores de corrosão na solução reduz a dissolução anódica do aço e retarda a evolução catódica de hidrogênio, sendo um agente anticorrosivo misto com tendência anódica.

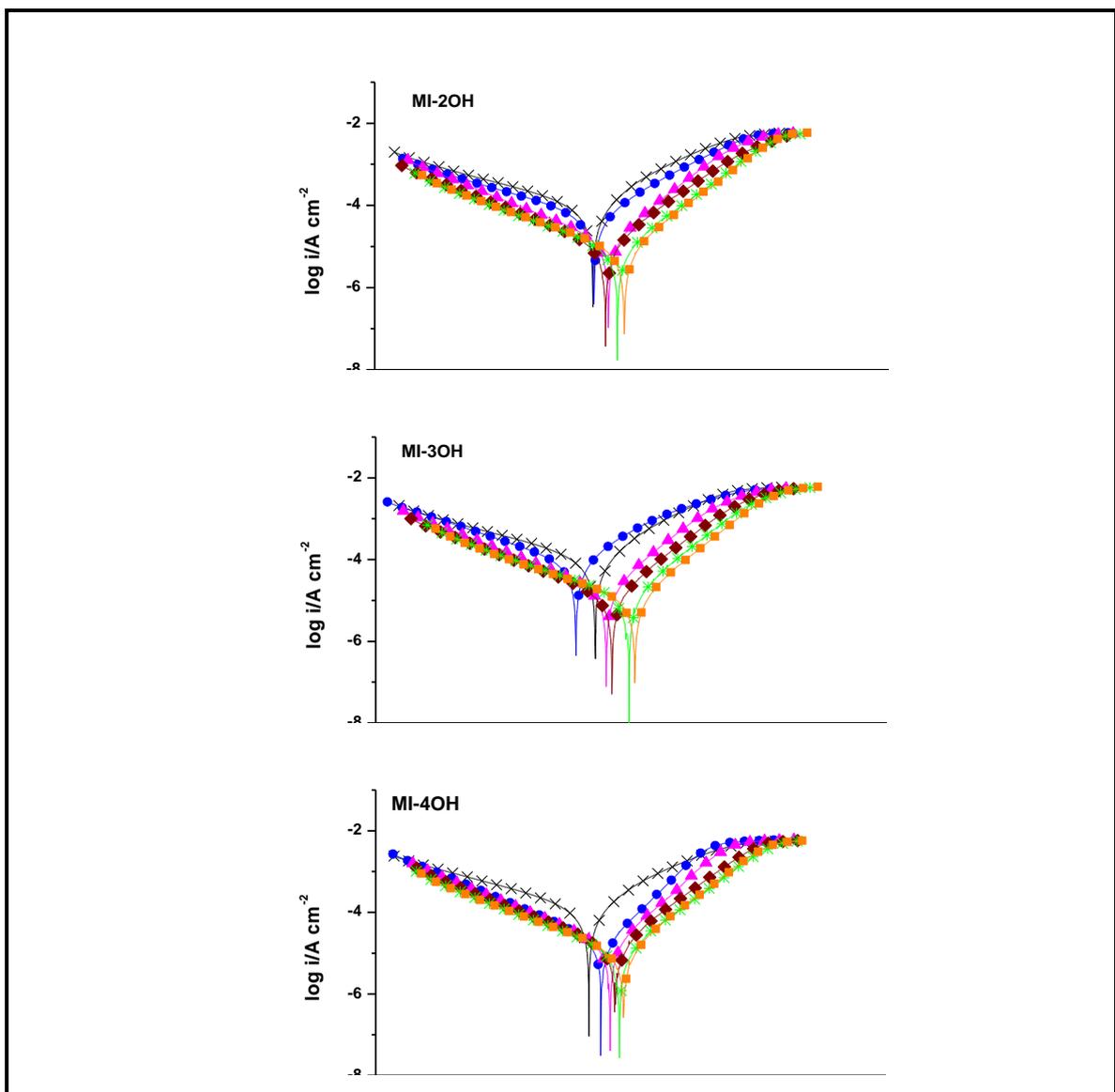


Figura 2. Curvas de polarização do aço carbono em  $\text{HCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , na ausência e presença dos cloridratos heterocíclicos frente ao aço carbono AISI 1020 nas seguintes concentrações: x Branco (sem inibidor); ●  $3,15 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ; ▲  $9,4 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ; ◆  $1,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ; \*  $2,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ; ■  $3,15 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ .

Para avaliar a eficiência de inibição dos cloretos heterocíclicos através de medições de resistência à polarização linear (RPL), foram obtidos os valores  $R_p$  e a eficiência calculada a partir das curvas de corrente x potencial, de acordo com a seguinte equação:

$$R_p = \Delta E / \Delta i$$

$$\eta_{RPL} (\%) = [(R_p - R_p^0) / R_p] \times 100$$

onde  $R_p$  e  $R_p^0$  são as resistências à polarização de corrosão na ausência e na presença do inibidor, respectivamente.

Os parâmetros obtidos a partir dos ensaios de PP e RPL utilizando-se os cloridratos heterocíclicos da classe dos 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilaminas estão listados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Parâmetros eletroquímicos para o aço carbono AISI 1020 em solução de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> na ausência e na presença dos cloridratos heterocíclicos.**

	C <sup>a</sup> (mol L <sup>-1</sup> )	E <sub>corr</sub> <sup>b</sup> (V)	i <sub>corr</sub> <sup>c</sup> (10 <sup>-5</sup> A/cm <sup>2</sup> )	V <sub>c</sub> <sup>d</sup> (mm/ano)	R <sub>p</sub> <sup>e</sup> (Ω)	η <sub>RPL</sub> <sup>f</sup> (%)
<b>Branco<sup>f</sup></b>	-	-0,47807	13,5	1,5737	199,74	
<b>MI-2OH</b>	3,15x10 <sup>-5</sup>	-0,4657	2,12	0,24581	757,77	48
	9,40 x10 <sup>-5</sup>	-0,4559	1,78	0,20693	987,81	78
	1,50 x10 <sup>-4</sup>	-0,45115	1,59	0,18454	1209,7	81
	2,50 x10 <sup>-4</sup>	-0,44621	1,20	0,13994	1665,3	86
	3,15 x10 <sup>-4</sup>	-0,44248	1,18	0,1366	1623,6	86
<b>MI-3OH</b>	3,15x10 <sup>-5</sup>	-0,49235	10,1	1,1735	253,01	11
	9,40 x10 <sup>-5</sup>	-0,4609	2,11	0,24505	868,72	64
	1,50 x10 <sup>-4</sup>	-0,45496	1,31	0,15186	1390,9	78
	2,50 x10 <sup>-4</sup>	-0,43731	1,33	0,15497	1417,7	81
	3,15 x10 <sup>-4</sup>	-0,43138	1,15	0,13319	1679,7	82
<b>MI-4OH</b>	3,15x10 <sup>-5</sup>	-0,4621	3,25	0,37788	444,38	48
	9,40 x10 <sup>-5</sup>	-0,4559	1,78	0,20693	987,81	78
	1,50 x10 <sup>-4</sup>	-0,45115	1,59	0,18454	1209,7	81
	2,50 x10 <sup>-4</sup>	-0,44621	1,20	0,13994	1665,3	86
	3,15 x10 <sup>-4</sup>	-0,44248	1,18	0,1366	1623,6	86

<sup>a</sup>Concentração; <sup>b</sup>potencial de corrosão; <sup>c</sup>densidade de corrente; <sup>d</sup>velocidade de corrosão; <sup>e</sup>Resistência de corrosão; <sup>f</sup> eficiência de inibição em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

Nos ensaios de EIE (Figura 3) observou-se um único semicírculo deslocado ao longo do eixo de impedância real ( $Z_{real}$ ), indicando que todos os compostos testados apresentaram eficiência anticorrosiva controlada por um processo de transferência de carga (11). As eficiências de inibição para cada concentração dos inibidores foram calculadas usando a equação 2 (12).

$$\eta_{EIE} = [(R_{ct} - R_{ct}^0) / R_{ct}] \times 100 \quad (2)$$

onde  $R_{ct}$  e  $R_{ct}^0$  são as resistências de transferência de carga, na presença e ausência do inibidor, respectivamente.

Os gráficos de Nyquist (Figura 3) mostraram um arco capacitivo, sendo que este comportamento é devido ao fato do eletrodo aço carbono gerar respostas relativas à formação de um filme passivo. A resistência à corrosão de um sistema pode ser avaliada a partir da forma dos diagramas de Nyquist.

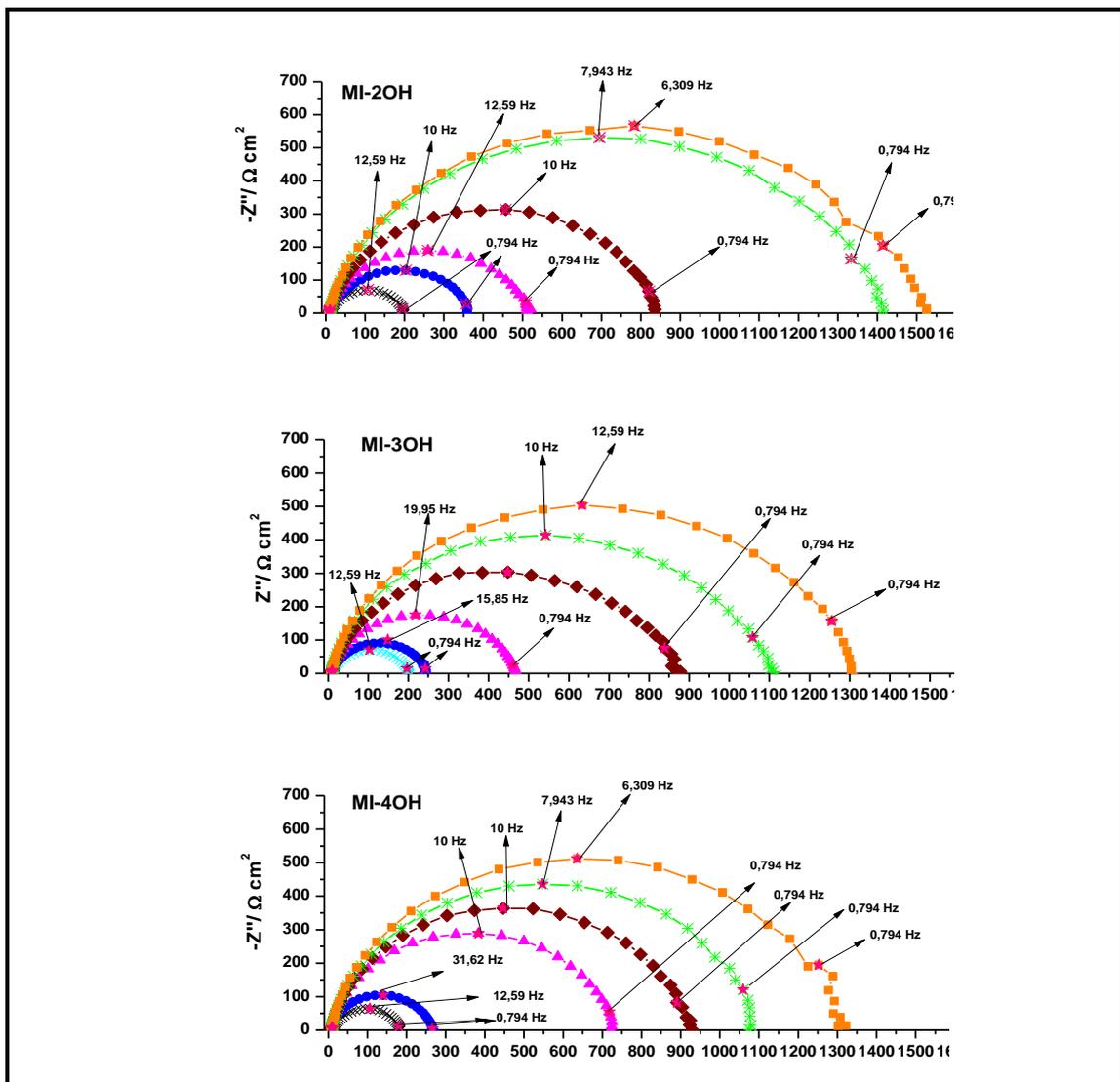


Figura 3. Diagramas de Nyquist em solução de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> do aço carbono AISI 1020, na ausência e presença dos cloridratos heterocíclicos nas seguintes concentrações: x Branco (sem inibidor); ● 3,15x10<sup>-5</sup> mol L<sup>-1</sup>; ▲ 9,4 x10<sup>-5</sup> mol L<sup>-1</sup>; ◆ 1,5x10<sup>-4</sup> mol L<sup>-1</sup>; \* 2,5x10<sup>-4</sup> mol L<sup>-1</sup>; ■ 3,15 x 10<sup>-4</sup> mol L<sup>-1</sup>.

Todos os espectros de EIE foram analisados usando o circuito equivalente mostrado na Figura 4, onde  $R_s$  representa a resistência da solução e  $R_{ct}$  a resistência de transferência de carga, cujo valor é uma medida da transferência eletrônica através da superfície e é inversamente proporcional à taxa de corrosão. O elemento de fase constante, CPE, é introduzido no circuito para se obter um ajuste mais preciso (13).

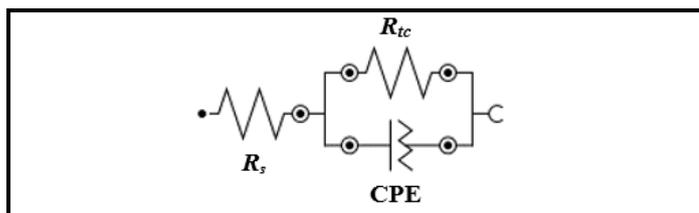


Figura 4. Circuito equivalente utilizado para ajustar o espectro de impedância eletroquímica.

Os parâmetros eletroquímicos a partir das curvas de Nyquist, incluindo  $R_{ct}$ ,  $C_{dl}$ ,  $Y_0$  e  $n$ , foram obtidos a partir do ajuste dos dados gravados da EIS usando o circuito equivalente, conforme Figura 4, e estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados obtidos nos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica para aço carbono em  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  HCl com os cloridratos heterocíclicos em diferentes concentrações.

	$C^a$ ( $\text{mol L}^{-1}$ )	$R_{ct}^b$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$R_s$ ( $\Omega$ )	$n$	$Y_0$ ( $\mu\text{F cm}^{-2}$ )	$\eta^c$ (%)
<b>Branco</b>		197,808	7,93	0,755	189	-
<b>MI-2OH</b>	$3,15 \times 10^{-5}$	359,503	7,94	0,759	112	45
	$9,40 \times 10^{-5}$	511,409	8,59	0,831	53,6	61
	$1,50 \times 10^{-4}$	835,214	9,8	0,849	32,5	76
	$2,50 \times 10^{-4}$	1414,82	9,5	0,861	25,3	86
	$3,15 \times 10^{-4}$	1525,79	8	0,861	26,5	87
<b>MI-3OH</b>	$3,15 \times 10^{-5}$	276,254	8,29	0,838	74,1	27
	$9,40 \times 10^{-5}$	467,627	7,13	0,818	48,3	57
	$1,50 \times 10^{-4}$	869,648	7,41	0,856	31,6	67
	$2,50 \times 10^{-4}$	1109,71	8,43	0,875	25,2	82
	$3,15 \times 10^{-4}$	1303,8	7,56	0,868	25,8	85
<b>MI-4OH</b>	$3,15 \times 10^{-5}$	266,441	7,86	0,857	41,4	31
	$9,40 \times 10^{-5}$	724,163	8,07	0,878	34,8	75
	$1,50 \times 10^{-4}$	928,702	8,65	0,881	30,0	80
	$2,50 \times 10^{-4}$	1075,25	9,17	0,880	29,9	83
	$3,15 \times 10^{-4}$	1301,07	7,13	0,877	31,6	86

<sup>a</sup>Concentração; <sup>b</sup>Resistência de transferência de carga; <sup>c</sup>eficiência de inibição em solução de HCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .

A melhor eficiência de inibição da corrosão apresentada utilizando-se as técnicas eletroquímicas foi para o MI-2OH com 86% na concentração de  $3,15 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  na metodologia de RPL e de 86% na concentração de  $3,15 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  na metodologia de EIE.

Com os valores da impedância consegue-se calcular a capacitância de dupla camada ( $C_{dl}$ ), que nos fornece dados sobre o filme de proteção que está sendo formado sobre a superfície do metal. Para conseguir esses dados utiliza-se a equação 3.

$$C_{dl} = Y_0(w_{\text{máx}})^{n-1} \quad (3)$$

A Tabela 3 mostra os valores utilizados para o cálculo da capacitância da dupla camada.

**Tabela 3 - Valores utilizados no cálculo de  $\Delta G_{\text{ads}}$  e da capacitância da dupla camada ( $C_{dl}$ ) para o aço carbono AISI 1020 em solução 1 mol L<sup>-1</sup> de HCl para os cloridratos heterocíclicos.**

Amostra	C <sup>a</sup> (mol L <sup>-1</sup> )	$\theta^b$	$R_{ct}^c$ ( $\Omega$ cm <sup>2</sup> )	$f_{\text{máx}}^d$ (Hz)	$C_{dl}^e$ 10 <sup>-5</sup> (mF cm <sup>-2</sup> )	$K_{\text{ads}}^f$ 10 <sup>+4</sup> (mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G_{\text{ads}}^{g*}$ 10 <sup>+4</sup> (KJ)
Branco	-			12,59	111,88		
MI-2OH	3,15x10 <sup>-5</sup>	0,45	359,503	10	64,30	4,14	-3,63
	9,40 x10 <sup>-5</sup>	0,61	511,409	12,59	34,94	3,73	-3,60
	1,50 x10 <sup>-4</sup>	0,76	835,214	10	22,95	3,43	-3,58
	2,50 x10 <sup>-4</sup>	0,86	1414,82	7,943	18,96	3,00	-3,55
	3,15 x10 <sup>-4</sup>	0,87	1525,79	6,309	20,51	2,77	-3,53
MI-3OH	3,15x10 <sup>-5</sup>	0,27	276,254	15,85	47,36	4,14	-3,63
	9,40 x10 <sup>-5</sup>	0,57	467,627	19,95	28,01	3,73	-3,60
	1,50 x10 <sup>-4</sup>	0,76	869,648	10	22,68	3,43	-3,58
	2,50 x10 <sup>-4</sup>	0,81	1109,71	10	18,89	3,00	-3,55
	3,15 x10 <sup>-4</sup>	0,84	1303,8	7,943	20,38	2,77	-3,53
MI-4OH	3,15x10 <sup>-5</sup>	0,31	266,441	31,62	25,26	4,14	-3,63
	9,40 x10 <sup>-5</sup>	0,75	724,163	10	26,28	3,73	-3,60
	1,50 x10 <sup>-4</sup>	0,80	928,702	10	22,81	3,43	-3,58
	2,50 x10 <sup>-4</sup>	0,83	1075,25	7,943	23,31	3,00	-3,55
	3,15 x10 <sup>-4</sup>	0,86	1301,07	6,309	27,27	2,77	-3,53

<sup>a</sup>Concentração; <sup>b</sup>cobertura de superfície; <sup>c</sup>resistência de transferência de carga; <sup>d</sup>frequência máxima; <sup>e</sup>capacitância de dupla camada; <sup>f</sup>constante de adsorção; <sup>g</sup>parâmetro de energia livre <sup>\*</sup>Constante dos gases nobres R = 8,314 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, temperatura T = 298 K.

Assim, pode ser sugerido que a inibição da corrosão envolvendo os cloridratos tiadiazólicos ocorre por mecanismo de adsorção química, pois o enxofre (S) é um átomo mole, com grande polarizabilidade, doando seus elétrons livres presentes no orbital *d*, para o orbital *d* do metal (Fe), com maior facilidade, formando uma ligação forte entre inibidor-metal e assim, formar um filme de proteção aderido sobre a superfície metálica.

A determinação do parâmetro de energia livre permite investigar se o mecanismo anticorrosiva está ocorrendo via formação fissionorção ou quimissorção. Os valores de  $\Delta G_{ads}$  foram obtidos a partir da equação 4:

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln(55,5K_{ads}) \quad (4)$$

Os valores negativos de  $\Delta G_{ads}$  (energia livre de Gibbs) significam que o processo de adsorção é espontâneo. Assim, analisando-se os valores de  $\Delta G_{ads}$  podemos concluir que todos os inibidores de corrosão testados, se adsorvem com mais força sobre a superfície metálica, devido aos valores negativos.

Geralmente,  $\Delta G_{ads}$  apresenta valores entre 0 e de -20 kJ/mol para interações eletrostáticas entre as moléculas carregadas e a superfície do metal carregada (fissionorção), enquanto que, os que estão abaixo -40 kJ/mol envolvem o compartilhamento ou a transferência de carga das moléculas orgânicas com a superfície metálica para formar uma ligação covalente coordenada (quimissorção). Estes valores indicam que os processos de adsorção dos inibidores avaliados sobre a superfície do aço carbono podem envolver interações complexas (adsorção física e química) (3,14).

A Figura 5 mostra o gráfico com as retas sobrepostas de  $C/\theta$  contra  $C$  ( $C$  = concentração) onde os valores dos coeficientes de correlação linear obtidos foram de 0,999 para MI-2OH, 0,985 para MI-3OH e 0,985 para MI-4OH. A inclinação da reta para cada amostra foi 1,000 para MI-2OH, 1,080 para MI-3OH e 0,996 para MI-4OH, demonstrando que a adsorção dos cloretos mesoiônicos estudados em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup> em aço carbono obedece a isoterma de adsorção de Langmuir.

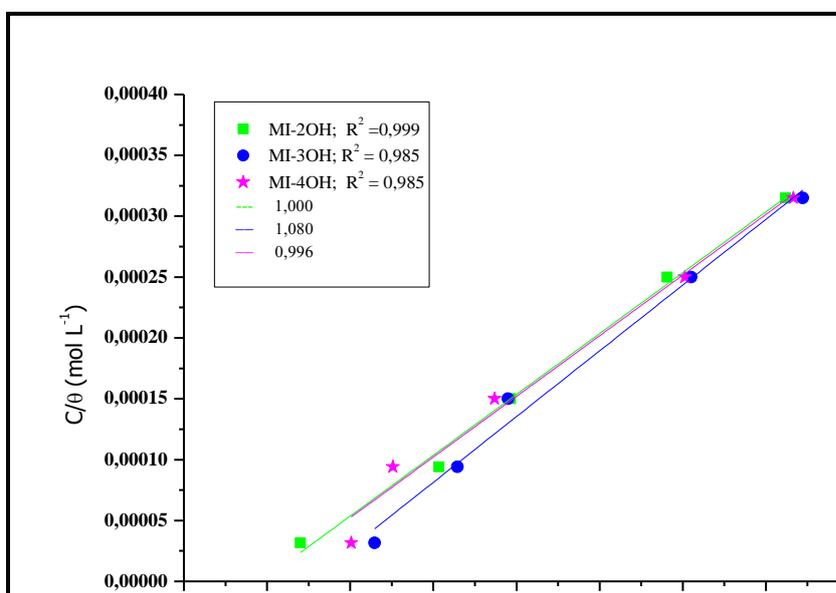


Figura 5 – Isoterma de Langmuir para os cloridratos tiadiazólicos em superfície de aço carbono AISI 1020 na presença de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

---

## Conclusões

---

A avaliação da atividade anticorrosiva de cloridratos 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilaminas em meio ácido sobre aço-carbono AISI 1020 utilizando as três técnicas eletroquímicas mostrou o aumento da eficiência de inibição da corrosão com o aumento da concentração dos inibidores.

A técnica da PP mostrou que todos os compostos avaliados podem ser classificados como inibidores mistos com tendência anódica, atuando na redução da dissolução anódica de aço e retardando as reações catódicas da evolução do hidrogênio. Já as medidas de EIE mostraram que quanto, mais desenvolvido for o arco capacitivo, maior será o diâmetro do semicírculo extrapolado no eixo real da impedância ( $Z'$ ), indicando, também, o aumento da eficiência na inibição da corrosão.

Os resultados obtidos permitiram, então, concluir que a utilização dos cloridratos tiadiazólicos estudados podem se apresentar como uma alternativa promissora na inibição à corrosão de aço carbono AISI 1020 em solução ácida.

---

**Referências bibliográficas**

---

- (1) VERMA, C.; QURAIISHI M. A.; SINGH, A. 2-Amino-5-nitro-4,6-diarylcyclohex-1-ene-1,3,3-tricarbonitriles as new and effective corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl: Experimental and theoretical studies. **Journal of Molecular Liquids**, v. 212, p. 804–812, 2015.
- (2) VERMA, C.; SINGH, A.; PALLIKONDA, G.; CHAKRAVARTY, M.; QURAIISHI, M. A.; BAHADUR, I.; EBENSO, E. E. Aryl sulfonamidomethylphosphonates as new class of green corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl: Electrochemical, surface and quantum chemical investigation. **Journal of Molecular Liquids**, v. 209, p. 306–319, 2015.
- (3) GOULART, C. M.; ESTEVES-SOUZA, A.; MARTINEZ-HUITLE, C. A.; RODRIGUES, C. J. F.; MACIEL, M. A. M.; ECHEVARRIA, A. Experimental and theoretical evaluation of semicarbazones and thiosemicarbazones as organic corrosion inhibitors. **Corrosion Science**, v. 67, p. 281–291, 2013.
- (4) DAOUD, D.; DOUADI, T.; HAMANI, H.; CHAFAA, S.; AL-NOAIMI, M.; Corrosion inhibition of mild steel by two new S-heterocyclic compounds in 1 M HCl: Experimental and computational study. **Corrosion Science**, v. 94, p. 21–37, 2015.
- (5) VOSTA, V. J. Quantenchemische Bewertung von Nitron als Inhibitor der Korrosion. **Werkstoff e und Korrosion**, p. 487–489, 1972.
- (6) MOURA, M. S. S. B. E. C. M.; SOUZA, A. D. N; ROSSI, C. G. F. T.; SILVA, D. R.; MACIEL, M. A.M.; ECHEVARRIA, A. Avaliação do potencial anticorrosivo de tiossemicarbazonas solubilizadas em microemulsão. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 59–62, 2013.
- (7) CHEN, W.; HONG, S.; LI, H. B.; LUO, H. Q.; LI, M.; LI, N. B. Protection of copper corrosion in 0,5M NaCl solution by modification of 5-mercaptop-3-phenyl-1,3,4-thiadiazole-2-thione potassium self-assembled monolayer. **Corrosion Science**, v. 61, p. 53–62, 2012.
- (8) PALOMAR-PARDAVÉ, M.; ROMERO-ROMO, M.; HERRERA-HERNÁNDEZ, H.; ABREU-QUIJANO, M. A.; LIKHANOVA, N. V.; URUCHURTU, J.; JUÁREZ-GARCÍA, J.

---

M. Influence of the alkyl chain length of 2 amino 5 alkyl 1,3,4 thiadiazole compounds on the corrosion inhibition of steel immersed in sulfuric acid solutions. **Corrosion Science**, v. 54, n. 1, p. 231–243, 2012.

(9) REIS, C. M.; MAIA FILHO, D. C.; ECHEVARRIA, A. Síntese de mesoiônicos utilizando irradiação em forno de micro-ondas. **Revista Universidade Rural: Série Ciências Exatas e da Terra**, p. 139–142, 2004.

(10) TIAN, H.; LI, W.; CAO, K.; HOU, B. Potent inhibition of copper corrosion in neutral chloride media by novel non-toxic thiadiazole derivatives. **Corrosion Science**, v. 73, p. 281–291, 2013.

(11) KHALED, K. F. Adsorption and inhibitive properties of a new synthesized guanidine derivative on corrosion of copper in 0,5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. **Applied Surface Science**, v. 255, p. 1811–1818, 2008.

(12) SUDHEER; QURAIISHI, M. A. Electrochemical and theoretical investigation of triazole derivatives on corrosion inhibition behavior of copper in hydrochloric acid medium. **Corrosion Science**, 70, p. 161–169, 2013.

(13) TORRES, V. V.; RAYOL, V.A.; MAGALHÃES, M.; VIANA, G.M.; AGUIAR, L.C.S.; MACHADO, S.P.; OROFINO, H.; D'Elia, E. Study of thioureas derivatives synthesized from a green route as corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution. **Corrosion Science**, 79, 108-118, 2014.

(14) HE, X.; JIANG, Y.; LI, C.; WANG, W.; HOU, B.; WU, L Inhibition properties and adsorption behavior of imidazole and 2-phenyl-2-imidazoline on AA5052 in 1,0M HCl solution. **Corrosion Science**, v. 83, p. 124–136, 2014.