



Rem: Revista Escola de Minas

ISSN: 0370-4467

editor@rem.com.br

Escola de Minas

Brasil

Tussolini, Martha; Spagnol, Cristiane; Turcatel Alves, Guilherme José; Taras da Cunha, Maico; Pinto Rodrigues, Paulo Rogério

Estudo do comportamento eletroquímico de azóis para o aço inoxidável AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>

Rem: Revista Escola de Minas, vol. 63, núm. 1, enero-marzo, 2010, pp. 103-109

Escola de Minas

Ouro Preto, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416597018>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# INOX: Corrosão

## Estudo do comportamento eletroquímico de azóis para o aço inoxidável AISI 430 em $H_2SO_4$ 1 mol L<sup>-1</sup>

**Study of electrochemical behavior of azoles for AISI 430 stainless steel in  $H_2SO_4$  1 mol L<sup>-1</sup>**

### Resumo

**Martha Tussolini**

Mestranda em Química Aplicada  
Universidade Estadual do Centro  
Oeste (PR) - UNICENTRO  
E-mail: marthattussolini@gmail.com

**Cristiane Spagnol**

Mestre em Química Aplicada  
Universidade Estadual do Centro  
Oeste (PR) - UNICENTRO  
E-mail: crispagnol@hotmail.com

**Guilherme José Turcatel  
Alves**

Mestrando em Química Aplicada  
Universidade Estadual de Ponta  
Grossa (PR) - UEPG  
E-mail: guilhermeturcatel@gmail.com

**Maico Taras da Cunha**

Mestre em Química, Físico-Química,  
Universidade São Paulo  
E-mail: maico\_tc@yahoo.com.br

**Paulo Rogério Pinto  
Rodrigues**

Doutor em Ciências  
Área de Físico-Química  
Departamento de Química, Setor de  
Ciências Exatas e de Tecnologia  
Universidade Estadual do Centro  
Oeste (PR) - UNICENTRO  
E-mail: prprodriques@unicentro.br

A corrosão é um processo indesejável que ocorre em materiais metálicos. Nesse trabalho, estudou-se o efeito inibidor do benzotriazol (BTAH), benzimidazol (BZM) e indol em diferentes concentrações para o aço inoxidável AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol L<sup>-1</sup>. Foram empregadas as técnicas de: polarização potencioscótica anódica, espectroscopia de impedância eletroquímica, microscopia óptica e eletrônica de varredura. As curvas de polarização potencioscótica anódica mostraram que o BTAH, BZM e Indol atuam como inibidores de corrosão para o aço AISI 430, nas concentrações de  $1 \times 10^{-3}$  e  $5 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>, não apresentando inibição significativa para as concentrações iguais ou inferiores a  $1 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>. O aumento da eficiência inibidora em relação às substâncias estudadas seguiu a seguinte ordem: Indol < BZM < BTAH. Os resultados obtidos nas curvas de polarização anódica foram comprovados por espectroscopia de impedância eletroquímica e pelas análises microscópicas.

**Palavras-chave:** Corrosão, inibidores, aço inoxidável.

### Abstract

*Corrosion is an undesirable process that occurs in metallic materials. Studied was the effect of inhibiting Benzotriazole (BTAH), Benzimidazole (BZM) and Indole in different concentrations for the stainless steel (SS) AISI 430 in  $H_2SO_4$  1 mol L<sup>-1</sup>. The techniques employed this research were: anodic potencioscotic polarisation, electrochemical impedance spectroscopy, optical microscopy and scanning electron microscopy. The curves of anodic polarisation showed that BTAH, BZM and Indol act as corrosion inhibitors for 430 SS, at concentrations of  $1 \times 10^{-3}$  and  $5 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>, but do not inhibit corrosion for concentrations equal to or less than  $1 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>. The increase of the efficiency in relation to the inhibitory substances studied followed this order: Indol < BZM < BTAH. The anodic polarization curve results were supported by electrochemical impedance spectroscopy, and microscopic analysis.*

**Keywords:** Corrosion, inhibitors, stainless steel.

### 1. Introdução

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe) e cromo (Cr) com um mínimo de 10,50 % em peso de Cr em sua composição. São caracterizados por uma alta resistência à corrosão. No entanto, essa denominação inoxidável não é correta

(uma vez que o cromo oxida-se), já que, na realidade, os aços inoxidáveis estão sujeitos à oxidação em determinadas circunstâncias e meios (Villares, 1995).

Esses aços, além de terem Fe e Cr em sua composição, podem ter a adição de outros elementos, que levam à geração de diversos tipos de classes e estruturas para aços inoxidáveis.

Esse trabalho estudou o aço inoxidável ferrítico AISI 430, que possui uma quantidade de cromo mais elevada quando comparado ao aço inoxidável martensítico, levando-o a ter uma melhor resistência à corrosão. Os aços ferríticos da série AISI 430 têm uma quantidade superior a 16% de cromo (Carbó, 2001). Esse aço tem uma boa capacidade de estampagem, podendo ser utilizado na fabricação de talheres, pias, fogões, etc.

O objetivo principal desse trabalho é estudar o efeito inibidor de substâncias orgânicas como o benzotriazol (BTAH), benzimidazol (BZM) e indol.

Os inibidores de corrosão são substâncias que, adicionadas em concentrações adequadas ao meio corrosivo objetivam evitar, prevenir ou impedir o desenvolvimento das reações de oxidação dos metais.

Substâncias orgânicas têm sido utilizadas como inibidores de corrosão em meio ácido para ligas metálicas (Rodrigues, 1997).

O BTAH (Figura 1) é consagrado como inibidor de corrosão para o cobre. Nos últimos anos, nota-se o aumento do número de trabalhos empregando o BTAH como inibidor para ligas de cobre, como latão e ligas cupro-níquel (Cunha, 2003). Trabalhos recentes têm mostrado a eficiência do benzotriazol, tanto para o ferro e suas ligas, como para o aço inoxidável em meio ácido (Andrade, 1995; Rodrigues, 1996, 1997, 1998; Ribas, 2006 e Tussolini, 2007).

De acordo com a Figura 1, verifica-se que o BTAH apresenta fórmula molecular C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>N<sub>3</sub>, o benzimidazol, C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>N<sub>2</sub> e o indol, C<sub>8</sub>H<sub>7</sub>N.

## 2. Materiais e métodos

A eficiência dos azóis como inibidores de corrosão foi avaliada empregando-se técnicas de: polarização potencioscótica anódica (PA), espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), microscopia óptica (MO) e eletrônica de varredura (MEV). As soluções foram preparadas com água ultrapura e reagentes p.a.

Os ensaios foram realizados na temperatura ambiente de 22 ± 2°C. As micrografias ópticas foram feitas em um microscópio Olympus BX40 e a micrografias eletrônicas de varredura foram feitas em Shimadzu SS 550. Para as análises microscópicas, o tratamento de superfície, para as amostras de aço AISI 430 foi feito com lixas de SiC de grana 220, 400, 600, 1200. Depois as amostras foram polidas com pasta de diamante de 15 µm, 6 µm, 1 µm, sucessivamente. Após o tratamento de superfície nas peças do aço AISI 430, as mesmas foram enxaguadas, e depois imersas por 90 minutos em solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> na presença e ausência de BTAH, BZM e indol 1x10<sup>-3</sup> mol L<sup>-1</sup>.

Os ensaios de polarização potencioscóticos foram realizados com potencioscômetro Gamry PC4-300, operando de modo potencioscótico em configuração de três eletrodos, ou seja, um eletrodo auxiliar de platina de grande área, eletrodo de referência de sulfato mercuroso saturado (ESM) e eletrodo de trabalho de aço inoxidável AISI 430 com área

média de 2 cm<sup>2</sup>. Utilizou-se uma célula de vidro com capacidade para 100 mL. O potencial de corrosão (E<sub>corr</sub>) para o eletrodo AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> se estabilizou em um tempo médio de 90 minutos. As curvas de polarização potencioscótica para o aço AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e presença de azóis, foram obtidas a partir do E<sub>corr</sub>, aplicando-se sobretensões anódicas de 10 em 10 mV, até uma sobretensão máxima de +250 mV.

Os ensaios de impedância eletroquímica foram realizados na mesma célula dos ensaios de polarização, empregando-se um analisador de freqüência da Gamry, modelo EIS 300, acoplado ao potencioscômetro PC4-300. As medidas de EIE foram feitas no potencial de corrosão com um potencial de perturbação de ± 5 mV. A faixa de freqüência utilizada foi de 3 kHz a 1 mHz.

## 3. Resultados

As medidas de potencial de corrosão, para o aço inoxidável AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e presença de BTAH, BZM ou indol, não registraram variação significativa, ou seja E<sub>corr</sub> = -910 ± 10 mV / ESM.

Nas Figuras 2 a 4, são apresentadas as curvas de polarização potencioscótica anódica, na região ativa, para o aço inoxidável AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e presença de BTAH, BZM e indol.

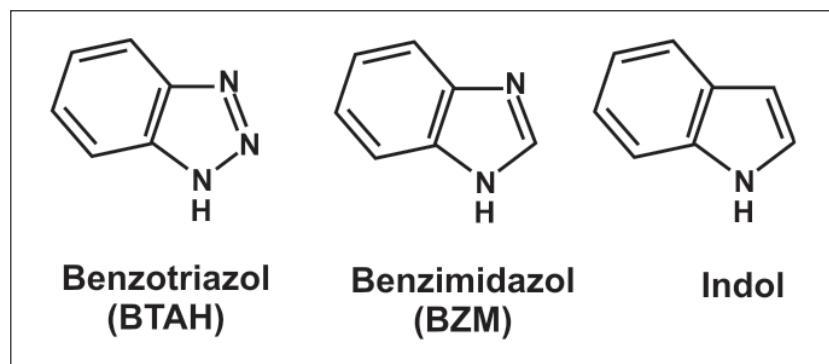


Figura 1 - Estrutura molecular do benzotriazol, benzimidazol e indol (Tussolini, 2007).

Nas Figuras 5 a 7, são apresentadas as eficiências inibidoras ( $\theta$ ) para diferentes concentrações de BTAH, BZM e indol. As  $\theta$  foram calculadas pela equação 1.

$$\theta = (j_{si} - j_{ci}) / j_{si} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$j_{ci}$  = densidade de corrente de pico anódica na presença de inibidor.

$j_{si}$  = densidade de corrente de pico anódica na ausência de inibidor.

A Figura 8 mostra os resultados da impedância eletroquímica para o BTAH, BZM e indol. Todos na mesma concentração de  $1 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup>.

As micrografias ópticas do aço AISI 430, em diferentes meios, são apresentadas na Figura 9.

As microscopias eletrônicas de varredura do aço 430, não imerso e imerso em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e presença de azóis, são apresentadas na Figura 10.

#### 4. Discussão

Nota-se, na Figura 2, que o indol e o BTAH provocam um deslocamento do potencial de corrosão para valores mais anódicos, porém pouco significativos. Em relação ao potencial de pico, na região ativa da curva de polarização potenciosstática anódica, registra-se que o indol e o BZM minimizaram a densidade de corrente ( $j$ ) quase na mesma ordem de grandeza, enquanto o BTAH provocou uma diminuição maior da ( $j$ ). Tal comportamento sugere que, para a concentração de  $1 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup> dos azóis, a ordem crescente da eficiência inibidora será: indol < BZM < BTAH.

Na Figura 3, observa-se que o BZM e o BTAH provocaram um maior deslocamento do potencial de corrosão para valores mais negativos do que o sistema sem azóis. Em relação ao potencial de pico, na região ativa da curva de polarização anódica, registra-se que para o indol, não houve uma diminuição significativa da densidade de corrente ( $j$ ). Tal comportamento sugere que, para

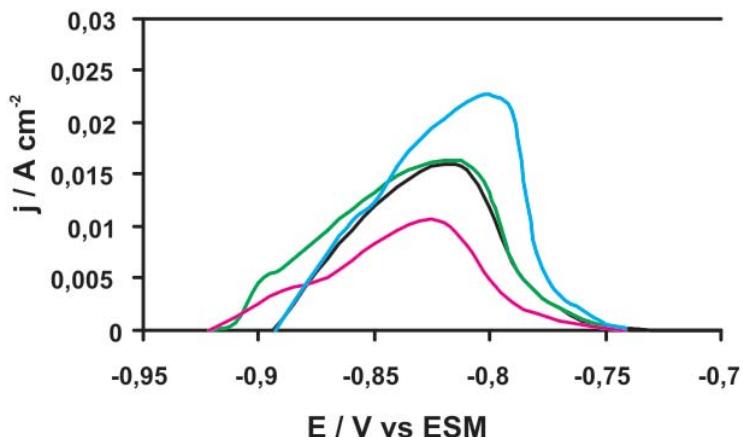


Figura 2 - Curvas de polarização potenciosstática anódica para o aço AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência (—) e presença de indol (—), BZM (—) e BTAH (—)  $1 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-4</sup>.

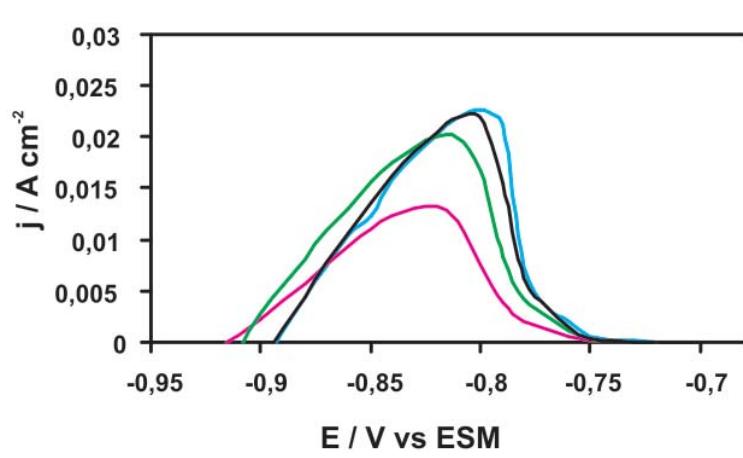


Figura 3 - Curvas de polarização anódica potenciosstática para o aço AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência (—) e presença de indol (—), BZM (—) e BTAH (—)  $5 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-4</sup>.

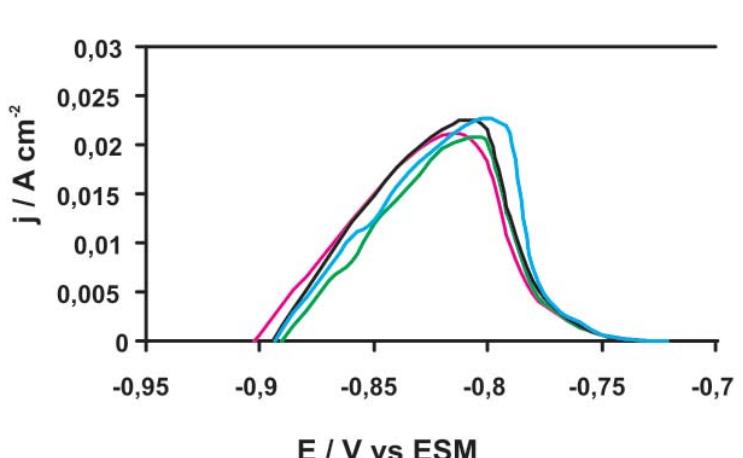


Figura 4 - Curvas de polarização anódica potenciosstática para o aço AISI 430 em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência (—) e presença de indol (—), BZM (—) e BTAH (—)  $1 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-4</sup>.

### Estudo do comportamento eletroquímico de azóis para o aço inoxidável AISI 430 em $H_2SO_4$ 1 mol $L^{-1}$

a concentração de  $5 \times 10^{-4}$  mol  $L^{-1}$  dos azóis, a ordem crescente da eficiência inibidora será: indol < BZM < BTAH.

Pode-se verificar, na Figura 4, que as substâncias BTAH, BZM e indol, nas concentrações de  $1 \times 10^{-4}$  mol  $L^{-1}$ , não apresentaram variação significativa na densidade de corrente, sugerindo que esta seja a concentração limite de uso desses azóis para o aço AISI 430 imerso em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ .

Comparando-se os resultados da Figura 5 em relação às Figuras 6 e 7, verificou-se que a melhor eficiência inibidora foi obtida para o sistema contendo BTAH.

Os diagramas de impedância eletroquímica (Figura 8) mostram um arco capacitivo maior para o aço AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ , contendo BTAH. O arco capacitivo reduz sua resistência em relação ao meio sem azóis na seguinte seqüência: BTAH, BZM e indol.

As micrografias das Figuras 9 e 10, qualitativamente, mostram que, apesar da baixa eficiência inibidora dos azóis, nas concentrações estudadas, o aço AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ , contendo BTAH  $1 \times 10^{-3}$  mol  $L^{-1}$ , foi o que menos sofreu ataque corrosivo.

Esses resultados sugerem que o aumento do número de heteroátomo de nitrogênio na molécula de azol, aumenta o efeito inibidor da corrosão do aço AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ . Assim verifica-se que a melhor eficiência inibidora é atribuída ao benzotriazol, sendo que resultados semelhantes foram registrados na literatura (Rodrigues, 1997; Cunha, 2003; Tussolini, 2007).

## 5. Conclusões

Os resultados apresentados nesse trabalho permitem concluir que:

- A eficiência inibidora dos azóis estudados, na concentração de  $1 \times 10^{-3}$  mol  $L^{-1}$ , para o aço AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ , aumenta na seguinte seqüência: indol < BZM < BTAH.

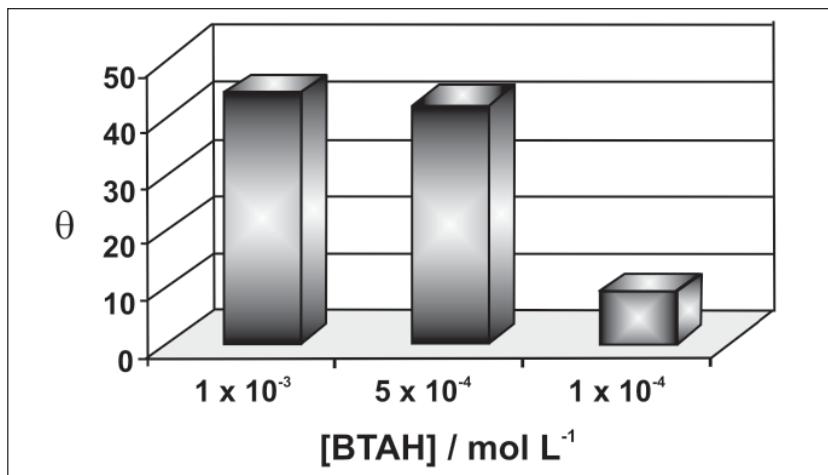


Figura 5 - Eficiência inibidora do BTAH para o aço AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ .

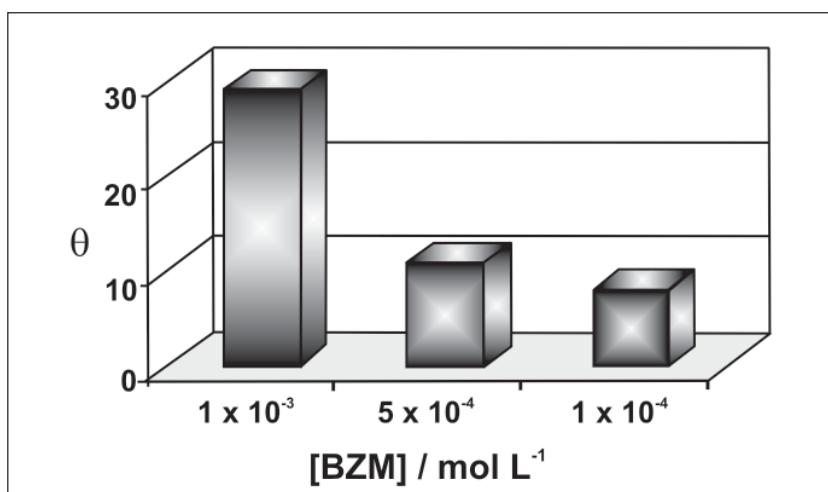


Figura 6 - Eficiência inibidora do BZM para o aço AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ .

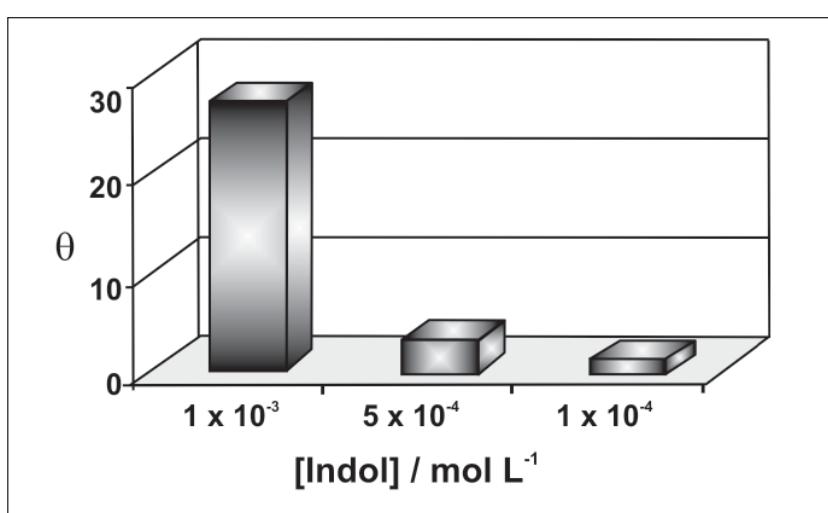
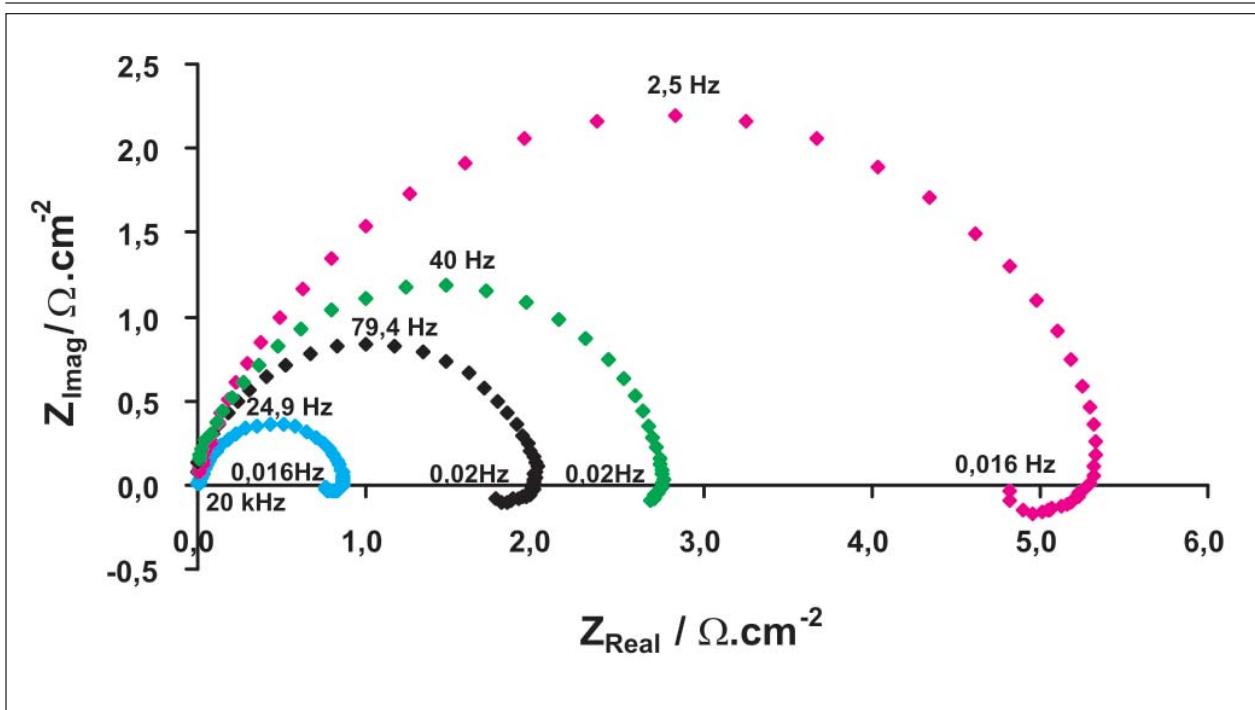


Figura 7 - Eficiência inibidora do indol para o aço AISI 430 em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ .



**Figura 8** - Impedância eletroquímica para o aço AISI 430 em meio de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ , na ausência (cor azul) e presença de indol (cor preta), BZM (cor verde) e BTAH ( $1 \times 10^3$  mol  $\text{L}^{-1}$ ).



**Figura 9** - Micrografias ópticas para o aço 430 antes da imersão e após imersão em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ , na ausência e presença de azóis  $1 \times 10^3$  mol  $\text{L}^{-1}$ . Aumento de 100x.

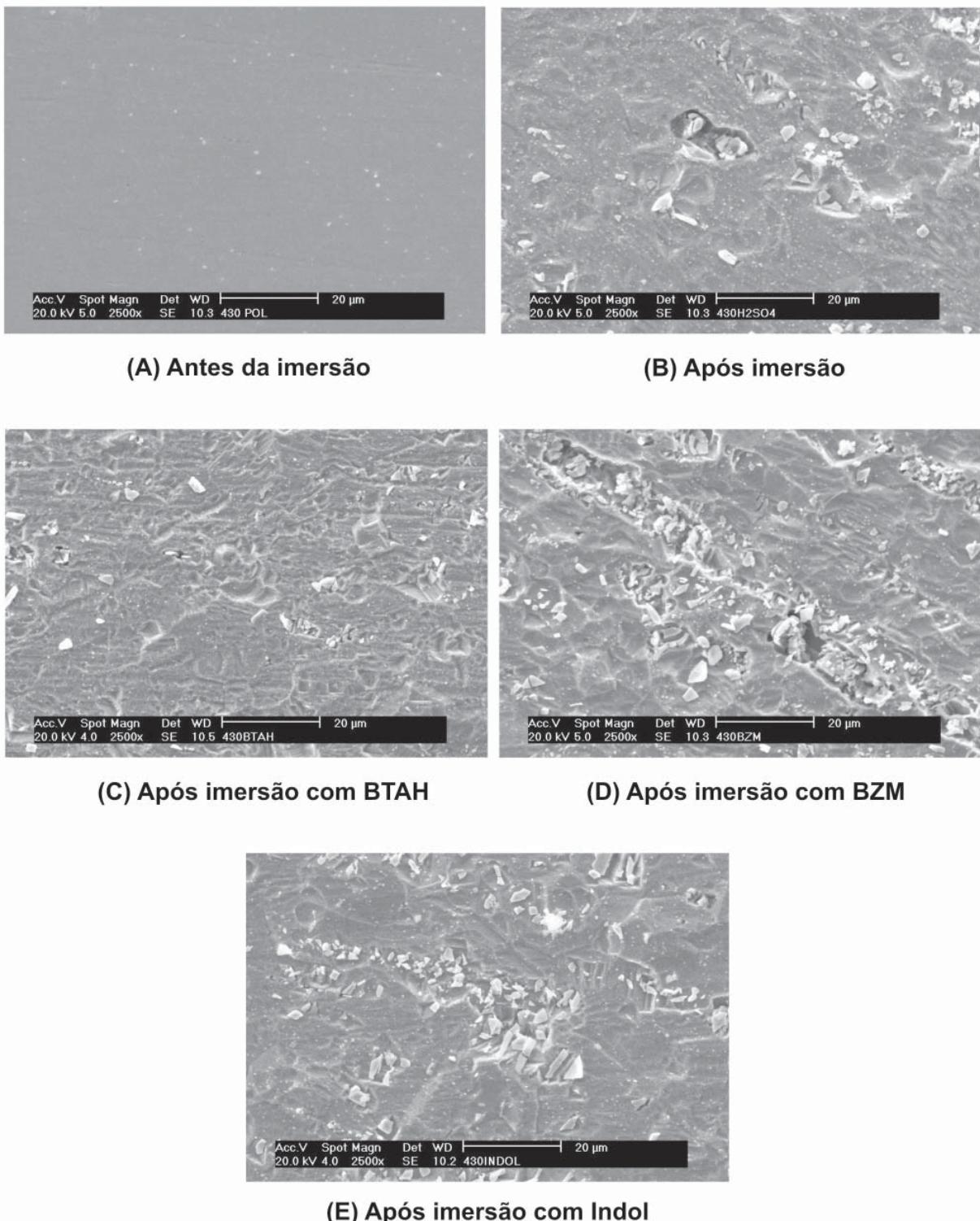


Figura 10 - Micrografia eletrônica de varredura para o aço 430 antes da imersão e após imersão em  $H_2SO_4$  1 mol  $L^{-1}$ , na ausência e presença de azóis  $1 \times 10^{-3}$  mol  $L^{-1}$ . Aumento de 2.500x.

- Os números de heteroátomos de nitrogênio presentes na estrutura molecular dos azóis, influenciam na ação inibidora da oxidação do aço AISI 430 em ácido sulfúrico 1 mol L<sup>-1</sup>, confirmando a melhor eficiência inibidora do BTAH. Tal influência é atribuída na literatura à adsorção química do BTAH - Fe<sup>+2</sup> (Cunha, 2003).

## **6. Agradecimentos**

Ao CNPq, à CAPES e à Fundação Araucária.

## **7. Referências bibliográficas**

- ANDRADE, A. H. P., RODRIGUES, P. R. P., AGOSTINHO, S. M. L. Caracterização do benzotriazol como inibidor para o aço inoxidável ferrítico. *Acta Microscópica*, v. 4, p. 39-40, 1995.
- CARBÓ, H. M. *Aço inoxidável - aplicações e especificações*, Catálogo Acesita, volume único, 2001.
- CUNHA, M. T. *Estudo comparativo dos inibidores benzotriazol e tolitriazol na oxidação de materiais ferrosos em meio de ácido sulfúrico*. São Paulo: Instituto de Química da USP, 2003. (Dissertação de Mestrado).
- DE WIT, J. H. W., HERMAN, E. C. M., DOBBELAAR, J. A. L. The corrosion behaviour of iron-chromium alloys in 0.5 M Sulphuric acid. *Corrosion Science*, v. 33, n. 5, p. 765-778, 1992.
- RODRIGUES, P. R. P. *O benzotriazol como inibidor de corrosão para ferro e ligas ferrosas em meios de ácido sulfúrico*. São Paulo: Instituto de Química da USP, 1997. (Tese de Doutorado).
- RODRIGUES, P. R. P., ANDRADE, A. H. P., AGOSTINHO, S. M. L. Benzotriazole as corrosion inhibitor for type 304 stainless steel in water-ethanol media containing 2 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *British Corrosion Journal*, Inglaterra, v. 33, n. 3, p. 211-213, 1998.
- RODRIGUES, P. R. P., ZERBINO, J. O., AGOSTINHO, S. M. L. Voltammetric and ellipsometric studies of films formed on 304 stainless steel in sulphuric acid solution without and with benzotriazole. *Materials Science Forum*, Itália, v. 288, p. 1299-1310, 1998.
- RODRIGUES, P. R. P., AOKI, IDALINA V., ANDRADE, A. H. P., OLIVEIRA, E., AGOSTINHO, S. M. L. Effect of benzotriazole on the electrochemical and corrosion behaviour of type 304 stainless steel in 2 M sulphuric acid solution. *British Corrosion Journal*, Inglaterra, v. 31, n. 4, p. 305-308, 1996.
- RIBAS, G. C. B., SILVA, D. K. DA. RODRIGUES, P. R. P., AGOSTINHO, S. M. L. Benzotriazole and tolytriazole as corrosion inhibitors of carbon steel 1008 in sulfuric acid. *Portugaliae Electrochimica Acta*, Portugal, v. 24, n. M270-4, p. 323-335, 2006.
- TUSSOLINI, M. et al. Estudo do comportamento eletroquímico do benzotriazol e benzimidazol na oxidação do aço inoxidável tipo ABNT 304. *REM - Revista Escola de Minas*, v. 60, p. 41-44-41, 2007.
- VILLARES. *Aços inoxidáveis*. Catálogo da Villares, volume único, 1995.

Artigo recebido em 23/06/2009 e aprovado em 18/01/2010.

**A REM tem novo endereço:**

**FUNDAÇÃO GORCEIX - REM  
Rua Carlos Walter Marinho Campos, 57  
Bairro: Vila Itacolomy  
35400-000 - Ouro Preto - MG  
(31) 3551-4730    (31) 3559-7408**

**www.rem.com.br**