

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 de extrato de folhas de cafeeiro como inibidor de corrosão para aço carbono em meio ácido

Gustavo Klinsmann dos Santos Scholz^a, Maria de Lourdes Martins Magalhães^b, Renato Maciel Campos^c, Dalva Cristina Baptista do Lago^d, Lilian Ferreira de Senna^e

Abstract

Carbon steel is one of the most used materials in industrial scale for the production of pipes, heat exchangers, and other equipments. Due to its frequent use, this material is degraded by the corrosion processes, causing accumulation of corrosion products on the metal surface and loss of efficiency. Chemical cleaning with acid solutions is one way to eliminate these undesirable products. However, in order to avoid that the acid solution attack the metal surface, the use of corrosion inhibitors is required. The aim of the present study is to evaluate the inhibitory effect of aqueous extracts of coffee leaves in the corrosion of 1020 carbon steel exposed to HCl 1 mol L⁻¹. The methodology consisted in the preparation of the aqueous extract of the antioxidant components present in coffee leaves, in a water bath, at different temperatures, for 15 min. Carbon steel specimens were sanded and immersed in HCl 1mol L⁻¹ solution in the absence and presence of different volumes of the aqueous extract produced. The inhibitory effect of the extracts was evaluated by electrochemical impedance spectroscopy (EIS), potentiodynamic polarization (PP) and weight loss experiments. The EIS tests showed that the coffee leaf extract has a good performance in inhibiting carbon steel corrosion process in acid in the studied conditions. PP results showed that the extracts act as a mixed inhibitor on carbon steel corrosion in HCl 1 mol L⁻¹. The inhibition efficiency obtained by the weight loss assays was 92.24%.

Keywords: 1020 carbon steel, coffee leaves, corrosion inhibitors, acidic solution.

Resumo

Aço carbono é um dos materiais mais empregados em escala industrial na confecção de tubulações, trocadores de calor e outros equipamentos. Devido a seu uso frequente, esses materiais são degradados por processos corrosivos, causando acúmulo de produtos de corrosão na superfície metálica e perda de eficiência. Limpeza química com soluções ácidas é um dos métodos de eliminação desses produtos indesejáveis. Entretanto, para evitar o ataque da solução ácida à superfície do metal, o uso de inibidores de corrosão se faz necessário. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a ação inibidora de extratos aquosos de folhas de

^aAluno de graduação, Engenharia Química - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

^bDoutoranda, Engenharia Química - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

^cAluno de graduação, Engenharia Química - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

^dDSc., Professor - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

^eDSc., Professor - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

cafeeiro na corrosão do aço carbono 1020 exposto a HCl 1 mol L⁻¹. A metodologia empregada consistiu no preparo do extrato aquoso dos componentes antioxidantes presentes nas folhas do cafeeiro, em banho-maria, em diferentes temperaturas, por 15 min. Corpos de prova de aço carbono lixados foram imersos em solução de HCl 1 mol L⁻¹, na ausência e presença de diferentes volumes do extrato aquoso produzido. O efeito inibitório dos extratos foi avaliado por ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), polarização potenciodinâmica (PP) e perda de massa. Os ensaios de EIE demonstraram que o extrato da folha do cafeeiro apresenta uma boa atuação na inibição do processo de corrosão do aço carbono em meio ácido nas condições estudadas. Os resultados de PP mostraram que os extratos agem como um inibidor misto na corrosão do aço carbono em HCl 1 mol L⁻¹. A eficiência de inibição obtida pelos ensaios de perda de massa foi de 92,24 %.

Palavras-chave: aço carbono 1020, folhas do cafeeiro, inibidores de corrosão, solução ácida.

Introdução

O aço é um dos materiais mais empregado nos segmentos de bens de produção e por isso assume grande importância na sociedade. A avaliação da deterioração de materiais metálicos devido à corrosão química ou eletroquímica apresenta um grande interesse tecnológico devido ao elevado gasto relacionado com as perdas de equipamentos e produtos industriais além da degradação ao meio ambiente (1,2).

A relevância dos processos corrosivos justifica o esforço empenhado na busca de métodos cada vez mais eficazes de seu controle. Várias pesquisas, como por exemplo o uso de inibidores de corrosão, têm sido realizadas a fim de diminuir a corrosão do aço por processos de dissolução anódica do metal em ambiente industrial e marinho, que são altamente corrosivos (3-5).

A preocupação com a preservação ambiental tem fomentado a discussão sobre a poluição e conseqüentemente sobre a toxicidade e biodegradabilidade de inibidores de corrosão lançados no meio ambiente. Os inibidores de corrosão convencionais expressam uma adequada redução nos processos de corrosão, entretanto seus componentes químicos afetam de forma prejudicial a vida marinha como por exemplo em campos petrolíferos, onde há seu descarte em plataformas de produção *offshore* para os corpos hídricos (6).

Estudos com extratos de produtos naturais como inibidores de corrosão em aço carbono em meio ácido têm se mostrado eficientes (7-14), demonstrando uma minimização de custos com a manutenção de tubulações desse aço pelas indústrias, além de contribuir com o reuso dos resíduos de tais produtos com base em uma perspectiva sustentável.

Neste trabalho foi avaliada a ação inibidora de extratos aquosos de folhas de cafeeiro na corrosão do aço carbono 1020 em HCl 1 mol L⁻¹, através das técnicas de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) e polarização potenciodinâmica (PP), e de ensaios de perda de massa. Foram avaliados a influência da temperatura de extração e do volume de extrato na eficiência de inibição.

Metodologia

1. Corpos de prova

Para os ensaios eletroquímicos foram utilizados cupons metálicos de aço carbono AISI 1020, com dimensões em torno de 1,8 cm x 2,0 cm x 0,2 cm e área média exposta de aproximadamente 2,3 cm². Um fio condutor de cobre foi soldado em cada cupom metálico para proporcionar a conexão elétrica do sistema e embutidos em resina epóxi.

Para os ensaios de perda de massa foram empregados cupons metálicos de aço carbono AISI 1020, com dimensões em torno de 2,0 cm x 1,4 cm x 0,2 cm e área de aproximadamente 7,3 cm². Em ambos os ensaios, os cupons metálicos foram lixados com lixas d'água de 100 mesh a 600 mesh de granulometria, lavados com água destilada e álcool etílico e secos com jato de ar quente. Os corpos de prova foram mantidos em dessecador até a realização dos ensaios eletroquímicos e de perda de massa.

A composição química dos cupons metálicos, em % em massa, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Composição química do aço carbono AISI 1020

Elemento	C	Mn	P	S _{máx}	Si	Cu	Cr	Ni	Fe
Massa (%)	0,16	0,63	0,012	0,031	0,012	0,01	0,03	0,01	balanço

2. Preparo dos extratos aquosos

Para o preparo dos extratos aquosos foram utilizadas folhas de cafeeiro oriundas da Fazenda Camocim, no Espírito Santo, as quais foram picadas. Massas de aproximadamente 3,5000 g de folhas picadas foram pesadas em três bechers e 100 mL de água destilada e deionizada foram adicionados a cada bécher. O conjunto foi submetido a banho-maria em diferentes temperaturas (60 °C, 80 °C e 100 °C), durante 15 minutos. Em seguida, cada solução foi filtrada à vácuo com papel de filtro quantitativo e mantida em geladeira até a realização dos ensaios eletroquímicos.

3. Ensaios eletroquímicos

Para a realização dos ensaios eletroquímicos, espectroscopia de impedância eletroquímica - 1 (EIE) e polarização potenciodinâmica (PP), foram empregados diferentes volumes dos extratos aquosos preparados no item 2. Antes da retirada das alíquotas, o volume do frasco contendo os extratos era homogeneizado. Volumes de 12,5 mL do extrato aquoso preparado, obtidos a 60 °C, 80 °C e 100 °C, foram adicionados a 20,7 mL de HCl concentrado, e avolumados a 250 mL em balão volumétrico, a fim de obter uma solução de HCl 1 mol L⁻¹ contendo o extrato. Foram utilizados também volumes de extrato aquoso de 25,0 mL e 37,5 mL, obtidos a 80 °C, os quais foram preparadas novas soluções de forma semelhante a anterior: HCl 1 mol L⁻¹, porém contendo uma concentração maior do extrato. Ensaios somente com a solução de HCl 1 mol L⁻¹ (Branco) também foram realizados. Após a estabilização do potencial de circuito aberto (OCP), foram realizados os ensaios de EIE e de PP. Os ensaios de PP foram realizados imediatamente após o término dos ensaios de EIE. Empregou-se uma

célula de três eletrodos com o aço carbono 1020 como eletrodo de trabalho, platina como contra-eletrodo e eletrodo de calomelano saturado (ECS) como eletrodo de referência. Os ensaios foram realizados a 25 ± 3 °C em um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT 302N. Os ensaios de EIE e PP são descritos a seguir.

3.1 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

Corpos de prova de aço carbono 1020, preparados segundo a metodologia descrita no item 1, foram imersos em solução de HCl 1 mol L^{-1} na ausência e presença de diferentes volumes do extrato aquoso produzido, e em seguida submetidos aos ensaios de EIE, após a estabilização do OCP. Foi empregada uma faixa de frequência de 10^5 Hz a 10^{-3} Hz , amplitude de 10 mV e taxa de aquisição da frequência de 10 pontos por década.

3.2 Polarização Potenciodinâmica

Os ensaios de polarização potenciodinâmica foram realizados imediatamente após a realização dos ensaios de EIE, empregando-se uma velocidade de varredura de 1 mV/s e variação de potencial de $\pm 300 \text{ mV}$ em torno do OCP. A densidade de corrente de corrosão (I_{corr}) e o potencial de corrosão (E_{corr}) foram obtidos pela extrapolação das retas de Tafel (15). A eficiência de inibição (EI) foi calculada segundo a equação 1 (16).

$$EI(\%) = \frac{I_{corr}(\text{branco}) - I_{corr}(\text{ensaio})}{I_{corr}(\text{branco})} \times 100 \quad (1)$$

Onde I_{corr} é a densidade de corrente de corrosão, “branco” corresponde ao resultado obtido a partir do ensaio sem os extratos e “ensaio” representa o resultado obtido a partir dos ensaios com os extratos.

4. Ensaios de perda de massa e análise da superfície metálica

Foram realizados ensaios de perda de massa, em duplicata, de cupons metálicos de aço carbono imersos por 24 h em solução de HCl 1 mol L^{-1} na ausência e presença de $12,5 \text{ mL}$ de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, obtido a 80 °C por 15 min. A eficiência de inibição (E.I.) e a taxa de corrosão (T.C.) foram calculadas segundo as equações (2) e (3), respectivamente.

$$EI(\%) = \frac{\text{taxa de corrosão}(\text{branco}) - \text{taxa de corrosão}(\text{ensaio})}{\text{taxa de corrosão}(\text{branco})} \times 100 \quad (2)$$

$$TC = \frac{(m_i - m_f) \times 87600}{A \times \rho \times t} \quad (3)$$

onde: T.C. = taxa de corrosão (mm/ano)
 m_i = massa inicial do corpo de prova (g);
 m_f = massa final do corpo de prova (g);
 A = área do corpo de prova (cm^2);
 ρ = densidade do aço carbono (g/cm^3);
 t = tempo de imersão (h).

Após a realização dos ensaios de perda de massa, os corpos de prova foram lavados com água destilada, secos com jatos de ar quente e submetidos à análise de superfície. A morfologia do filme formado e adsorvido na superfície dos corpos de prova foi avaliada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), empregando um microscópio Quanta 250, com detector do tipo centaurus e voltagem de 15 KV, com aumento de 1000x. Adicionalmente, foram obtidas imagens no microscópio estereoscópio Olympus SZ61, com aumento de 30x.

Resultados e discussão

1. Ensaios de Polarização Potenciodinâmica (PP)

Inicialmente foram avaliadas condições distintas de temperatura de extração (60 °C, 80 °C e 100 °C) para a obtenção de extratos aquosos das folhas do cafeeiro por 15 minutos. A Figura 1 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmicas, catódica e anódica, do aço carbono 1020, obtidas na solução de HCl 1 mol L⁻¹, na ausência e presença de 12,5 mL de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, nas diferentes temperaturas. Verifica-se um maior efeito da presença do extrato de folhas do cafeeiro sobre as curvas de polarização catódica, indicando que a presença do mesmo influencia mais no processo de evolução de gás hidrogênio, produzido na reação catódica, diminuindo-a. Observa-se ainda, uma redução nos valores de densidade de corrente anódica e catódica, sendo a maior redução verificada no extrato aquoso obtido a 80 °C. Observa-se ainda, através das curvas de PP do aço carbono, uma maior diferença no perfil das curvas anódicas, especialmente em 80 °C. Possivelmente em 60 °C não houve a extração de todos os componentes antioxidantes da folha do cafeeiro e em 100 °C provavelmente houve a degradação de parte dos componentes inibidores presentes na folha do cafeeiro.

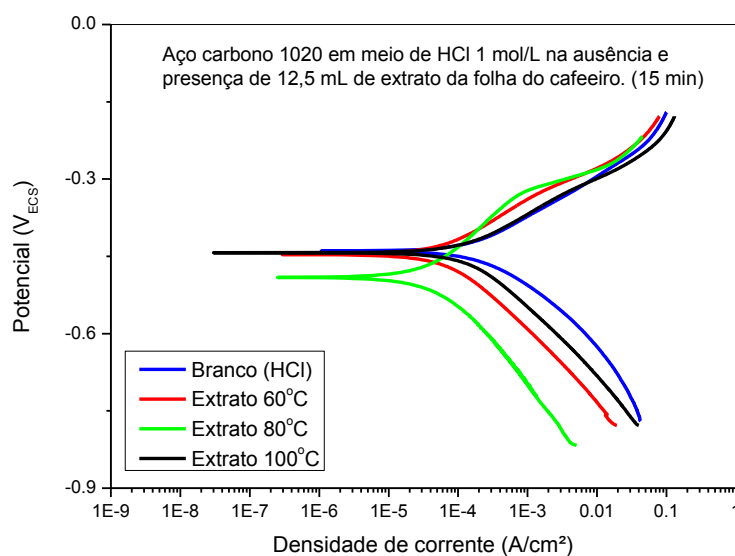


Figura 1 – Curvas de polarização potenciodinâmica para o aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L⁻¹ na ausência e presença de extratos aquosos de folhas do cafeeiro em diferentes temperaturas

Os principais parâmetros eletroquímicos obtidos através da extrapolação das retas de Tafel, tais como o potencial de corrosão (E_{corr}), densidade de corrente de corrosão (I_{corr}), os

coeficientes de Tafel anódico (β_a) e catódico (β_c), e também a taxa de corrosão (taxa corr) e a eficiência de inibição (E.I.) são mostrados na Tabela 2. Observa-se na Tabela 2 o deslocamento do potencial de corrosão (E_{corr}) do aço carbono 1020 para valores mais negativos, independente da temperatura de obtenção do extrato aquoso. A maior diferença observada entre o E_{corr} do branco e do E_{corr} na presença de extrato foi de 34 mV (100 °C). Quando a variação no E_{corr} do inibidor em relação ao branco não é superior a ± 85 mV, o inibidor é classificado como misto, inibindo as reações anódica e catódica (17). Assim sendo, a presença do extrato aquoso de folhas de café no meio ácido inibiu as reações de oxidação do ferro e de redução dos íons H^+ . O maior valor de eficiência de inibição (79,15 %) foi verificado quando se empregou 12,5 mL de extrato aquoso obtido a 80 °C.

Tabela 2 – Parâmetros de Tafel, taxa de corrosão (taxa de corr) e eficiência de inibição (E.I.), com base nos resultados dos ensaios de PP do aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L⁻¹ na ausência e presença de 12,5 mL de extrato aquoso de folhas de café em diferentes temperaturas

Ensaio	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	E_{corr} (mV)	β_c (mV/dec)	β_a (mV/dec)	Taxa corr (mm/ano)	E.I. (%)
Branco	117,5	-434	40	42	2,727	-
60 °C	37,62	-465	44	41	0,874	70,84
80 °C	26,91	-460	43	39	0,625	79,15
100 °C	43,73	-468	41	43	1,015	66,12

Por conta do comportamento descrito acima, foi selecionada a temperatura de 80°C, que obteve os melhores resultados, e realizados ensaios em diferentes volumes de extrato aquoso (12,5; 25,0; 37,5) mL. A Figura 2 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica dos referidos ensaios.

Não houve diferenças significativas nos perfis das curvas de PP do aço carbono da Figura 2 na presença e ausência de extrato aquoso de folhas do café. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos pela extrapolação das retas de Tafel para os ensaios de PP, e os valores de taxa de corrosão e eficiência de inibição. É possível observar que independente da condição empregada na produção do extrato, há um decréscimo da I_{corr} nos ensaios com os extratos, o que demonstra que os mesmos atuam como inibidores de corrosão.

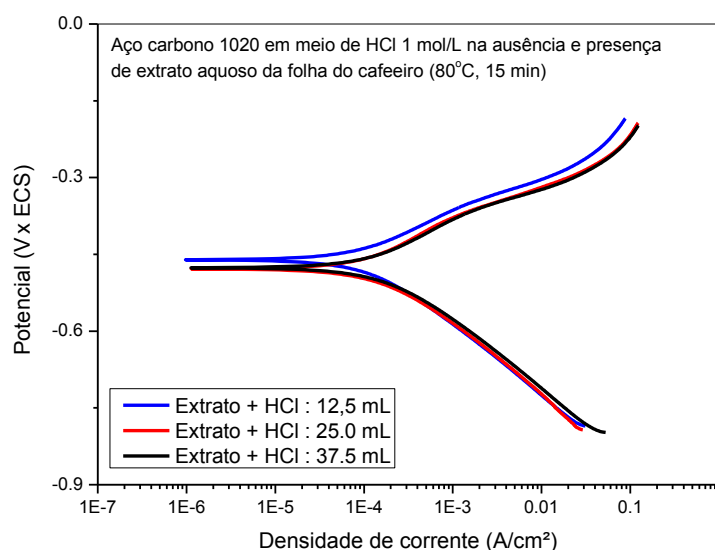


Figura 2 - Curvas de polarização potenciodinâmica do aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L⁻¹ na ausência e presença de extratos aquosos das folhas do cafeeiro, obtidos a 80 °C durante 15 min

Tabela 3- Parâmetros de Tafel, taxa de corrosão (taxa de corr) e HCl 1 mol L⁻¹ na ausência e presença de diferentes volumes de extrato aquoso das folhas de cafeeiro obtidos a 80 °C e eficiência de inibição (E.I.), com base nos resultados dos ensaios de PP

Ensaio	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	E_{corr} (mV)	β_c (mV/dec)	β_a (mV/dec)	Taxa corr (mm/ano)	E.I. (%)
Branco	117,5	-434	40	42	2,727	-
12,5 mL	26,91	-460	43	39	0,6247	79,15
25,0 mL	32,97	-479	40	43	0,7655	74,45
37,5 mL	34,89	-476	40	41	0,8101	72,96

Os resultados apontam que não houve significativas variações nos E_{corr} na presença dos extratos aquosos quando comparados com o E_{corr} do ensaio em branco. Nota-se que o potencial de corrosão é deslocado para valores mais negativos, com a adição do extrato, quando comparado ao branco. A maior diferença (45 mV) entre os potenciais de corrosão no ensaio em branco e no ensaio com os extratos não é superior a ± 85 mV, confirmando a ação do referido extrato como inibidor misto (17). O aumento no volume de extrato aquoso adicionado ao meio ácido não favoreceu a redução no processo corrosivo, sendo a maior E.I. (79,15 %) obtida para um menor volume de extrato (12,5 mL).

2. Ensaio de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

A Figura 3 apresenta os diagramas de Nyquist para o aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L⁻¹ na ausência e presença 12,5 mL de extratos aquosos de folhas do cafeeiro, obtidos em diferentes temperaturas, durante 15 min.

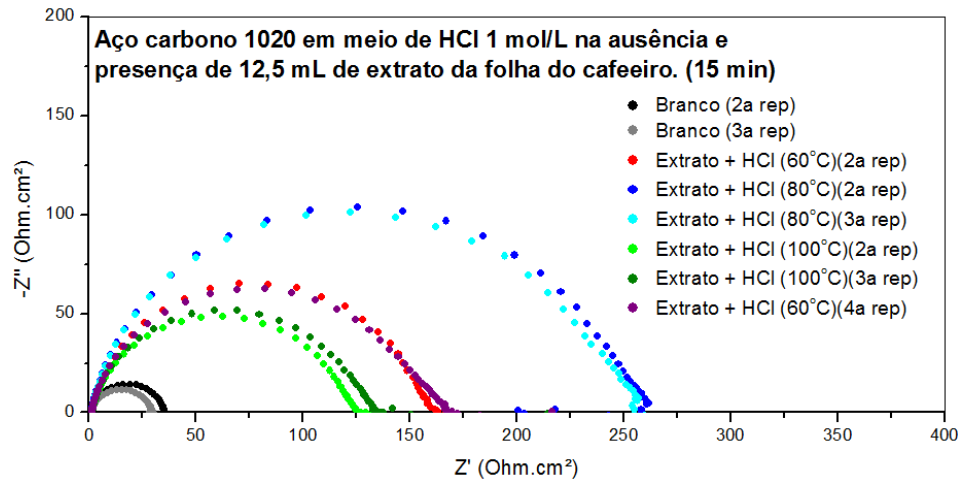


Figura 3 - Diagramas de Nyquist do aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L⁻¹ na ausência e presença de 12,5 mL de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, obtidos em diferentes temperaturas, durante 15 min

Os resultados dos diagramas de EIE (Figura 3) também indicam um comportamento mais eficaz na temperatura de 80 °C. Contudo, pode-se notar que, independente da condição empregada, houve uma redução na capacitância da dupla camada elétrica na presença do extrato aquoso, indicando, uma minimização no processo corrosivo do aço carbono em solução de HCl 1 mol L⁻¹. A adsorção de um filme na superfície do aço reduz a capacitância da dupla camada elétrica, porque desloca as moléculas de água e outros íons inicialmente adsorvidos na superfície, formando uma camada protetora sobre o metal (18). Desse modo, é provável que as moléculas do extrato que atuam de forma inibidora tenham se adsorvido na superfície do metal, tendo sido já verificado no estudo de outros inibidores naturais (7).

Posteriormente foram realizados ensaios a 80 °C em diferentes volumes de extrato aquoso de folhas do cafeeiro (12,5; 25,0; 37,5) mL. A Figura 4 apresenta os diagramas de Nyquist dos referidos ensaios, em duplicata.

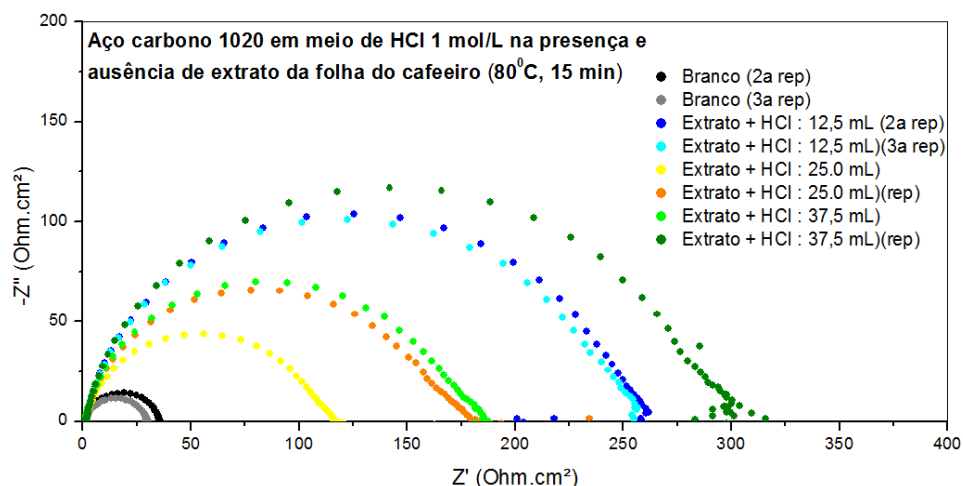


Figura 4 - Diagramas de Nyquist do o aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L⁻¹ na ausência e presença de diferentes volumes extratos aquosos de folhas do cafeeiro na temperatura de 80 °C

Pode-se observar uma redução no processo corrosivo na presença do extrato aquoso, provavelmente pela formação de um filme adsorvido na superfície metálica, já que houve uma minimização na capacitância da dupla camada elétrica e conseqüentemente um aumento na resistência a polarização (R_p). Não foi verificada uma relação direta entre o volume de extrato aquoso utilizado e R_p . Além disso, as duplicatas dos ensaios realizados com alíquotas de 25,0 mL e 37,5 mL apresentaram comportamentos diferenciados. A variação nestes resultados pode ser explicada pelo fato dos ensaios terem sido realizados com amostras diferentes de extratos aquosos. Isso implica provavelmente em quantidades diferenciadas dos componentes antioxidantes presentes nos diferentes extratos. Dessa forma, o ensaio com maior eficiência de inibição foi aquele realizado com o menor volume de extrato.

3. Ensaios de perda de massa e análise da superfície metálica

Os ensaios de perda de massa dos cupons de aço carbono 1020 por 24h em solução de HCl 1 mol L⁻¹, na ausência e presença de 12,5 mL de extrato aquoso de folhas de café, obtido a 80 °C por 15 min, mostraram que a adição do referido extrato à solução de HCl 1 mol L⁻¹ é essencial para reduzir o processo corrosivo do aço carbono em meio ácido. A eficiência de inibição média foi de 92,24 %, sendo a taxa de corrosão média do aço carbono no meio contendo o extrato aquoso igual a 4,58 mm/ano e na ausência deste igual a 59,01 mm/ano.

Após a realização dos ensaios de perda de massa, os corpos de prova foram lavados com água destilada, secos com jatos de ar quente e submetidos à análise de superfície, empregando um microscópio estereoscópio e um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

As imagens do estereoscópio mostram uma superfície menos corroída (Figura 5B) do aço carbono 1020 na solução de HCl 1 mol L⁻¹ contendo 12,5 mL do extrato aquoso (80°C e 15 min de extração) de folhas do café, decorrente provavelmente do processo de adsorção das substâncias antioxidantes (ácido cafeico, cafeína e ácido clorogênico) presentes nos extratos das folhas do café.

A literatura reporta que a adsorção de íons cloreto carregados negativamente sobre a superfície do aço carbono cria um excesso de cargas negativas na superfície, favorecendo a adsorção de cátions (inibidores protonados). As moléculas protonadas do inibidor se adsorvem na superfície do aço carbono via íons cloreto, os quais formam uma ponte entre a superfície do aço carregada positivamente e as moléculas protonadas do inibidor (19). Supõe-se que ocorram interações eletrostáticas entre as moléculas protonadas e as espécies de $(FeCl)_{ads}$ nos sítios anódicos (19).

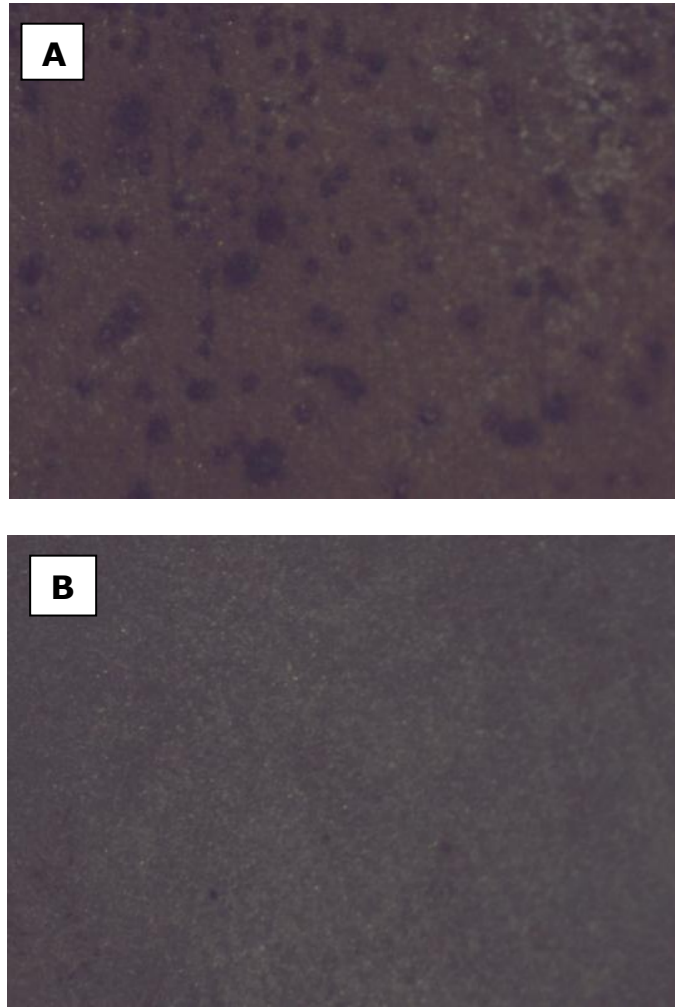


Figura 5 – Imagens (estereoscópio) da superfície do aço carbono 1020 após imersão total por 24 h em: (A) Solução de HCl 1 mol L⁻¹; (B) Solução de HCl 1 mol L⁻¹ contendo 12,5 mL de extrato aquoso de folhas do cafeeiro (extração a 80 °C por 15 min) (Aumento de 30x)

Na Figura 6 são mostradas as imagens do MEV do aço carbono após a realização dos ensaios de perda de massa por 24 h em solução de HCl 1 mol L⁻¹ na ausência (Figura 6A) e presença (Figura 6B) de 12,5 mL de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, obtido a 80 °C durante 15 min. Observa-se, na presença do extrato aquoso, uma estrutura diferenciada, menos rugosa e mais homogênea do que aquela observada na ausência do extrato (Figura 6A), provavelmente relacionada ao processo de inibição da corrosão do aço carbono 1020 no meio de HCl 1 mol L⁻¹ contendo o extrato.

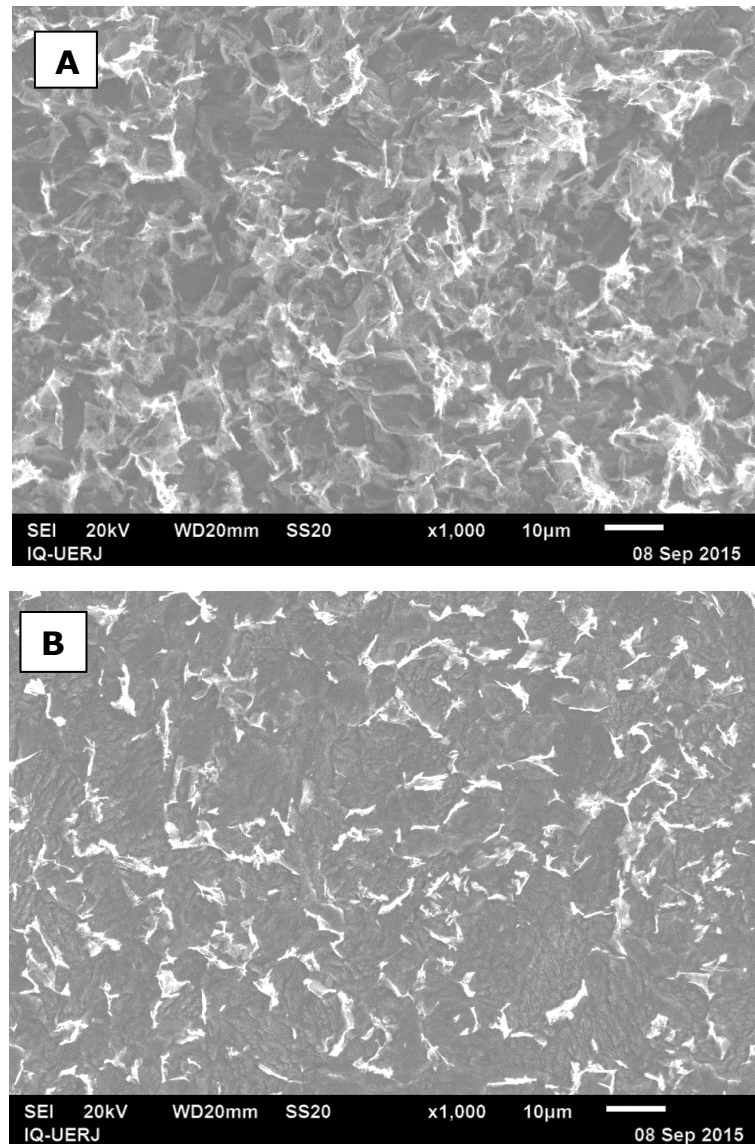


Figura 6 – Micrografia (MEV) da superfície do aço carbono 1020 após imersão total por 24 h em: (A) HCl 1 mol L⁻¹; (B) HCl 1 mol L⁻¹ na presença de 12,5 mL de extrato aquoso de folhas do cafeeiro (extração a 80 °C por 15 min) (Aumento 1000x).

Conclusões

Os resultados dos ensaios de EIE, PP e de perda de massa no estudo da avaliação da ação inibidora de extratos aquosos de folhas de cafeeiro na corrosão do aço carbono 1020 em HCl 1 mol L⁻¹, apontaram que o referido extrato apresenta um bom comportamento na inibição do processo de corrosão do aço carbono 1020 imerso em HCl 1 mol L⁻¹ nas condições estudadas.

A ação inibidora do extrato ocorre tanto no ramo anódico, quanto no ramo catódico, demonstrando que extrato aquoso de folhas de cafeeiro atuou como um inibidor misto, embora o processo tenha sido mais proeminente sobre o processo catódico de desprendimento de hidrogênio.

Os ensaios realizados em diferentes temperaturas de extração demonstraram uma maior eficiência de inibição a 80 °C, para 15 min de extração e 12,5 mL de extrato utilizado. Possivelmente a extração realizada em 60 °C não foi capaz de extrair todos os componentes antioxidantes da folha do cafeeiro e na extração em 100 °C há a provável degradação de parte dos componentes inibidores da folha.

Os resultados obtidos para diferentes volumes de extrato aquoso, para extração por 15 min a 80 °C, mostraram que o aumento no volume de extrato aquoso adicionado ao meio ácido não favoreceu a redução no processo corrosivo, sendo a maior E.I. (79,15 %) obtida para um menor volume de extrato (12,5 mL).

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ e à UERJ pelo apoio financeiro. Dalva C. B. do Lago e Lilian F. Senna agradecem também ao Programa Prociência.

Referências bibliográficas

- (1) ADAMIAN, R. **Novos materiais. Tecnologia e aspectos econômicos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2008.
- (2) DA COSTA E SILVA, A. L. V.; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**, 3a ed revista e ampliada, editora Edgard Blucher, 2010.
- (3) RAJA P. B.; SETHURAMAN, M. G. **Materials Letters**, 62, p. 113-116, 2008.
- (4) MANIER, F.B., DA SILVA, R. R. de C. M. As formulações inibidoras de corrosão e o meio ambiente. **Engevista**, v. 6, n.3, p. 106-12, 2004.
- (5) MANIER, F.B. Inibidores de corrosão na indústria de petróleo: ontem, hoje e amanhã, Anais: 5^o Congresso Latino-Americano de Hidrocarbonetos – CONEXPO-ARPEL-96, Rio de Janeiro, 1996.
- (6) SASTRI, V. S. **Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice**, First Edition. 2011 John Wiley & Sons, Inc. Published 2011 by John Wiley & Sons, Inc.
- (7) ROCHA, J. C.; GOMES, J. A.C.P.; DELIA, E.; CRUZ, A. P. G. ; CABRAL, L. M. ; TORRES, A.G.; MONTEIRO, M. V. Grape pomace extracts as green corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solutions. **International Journal of Electrochemical Science**, v.7, p. 11941- 11956, 2012.

-
- (8) ASHASSÍ-SORKHABI, H.; E' SHAGHI, M. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by betanin as green inhibitor. **Journal of Solid State Electrochemistry**, v. 13, n. 8, p. 1297-1301, 2009.
 - (9) LAHHIT, N.; BOUYANZER, A.; DESJOBERT, J.-M.; HAMMOUTI, B.; SALGHI, R. COSTA J.; JAMA, F.; BENTISS F.; MAIJIDI, L. **Portugaliae Electrochimica Acta**, 29 (2), p.127-138, 2011.
 - (10) LI, X.; DENG, S.; FU, H. Inhibition Of the corrosion of steel in HCl, H₂SO₄ solutions by bamboo leaf extract. **Corrosion Science**, v. 62, p. 163-175, 2012.
 - (11) SATAPATHY, A.K.; GUNASEKARAN,G.; SAHOO,S.C.; KUMAR AMIT; RODRIGUES,P.V. **Corrosion Science**, 51, p. 2848-2856, 2009.
 - (12) D'ELIA E.; SÁ, C. F. de; AMADO, R. S.; SOARES, F.S. Anais do INTERCORR, CD-ROM, Fortaleza, 2010.
 - (13) NOFRIZAL, S.; RAHIM, A. A.; SAAD, B.; RAJA, BOTHI; SHAH, A. M.; YAHYA, S. **Metallurgical and Materials Transactions A**, 43 A, p. 1382-1393, 2012.
 - (14) TORRES, V. V.; AMADO, R. S.; SÁ, C. F.; RIEHL, C.; FERNANDEZ, T.L.; TORRES, A.G.; D'ELIA, E. **Corrosion Science**, v.53, p. 2385-2392, 2011.
 - (15) NEGM, N.A.; KANDILE, N. G.;BADR, E. A.; MOHAMED, M. A. Gravimetric and electrochemical evaluation of environmentally friendly nonionic corrosion inhibitors for carbon steel in 1 M HCl. **Corrosion Science**, v. 65, p. 94-103, 2012.
 - (16) ASTM G3-89 Standard practice for conventions applicable to electrochemical measurements in corrosion testing, 1994.
 - (17) MORAD, M. S.; EL-DEAN, A. M. K. 2,2'-dithiobis (3-cyano-4,6-dimethylpyridine): A new class of acid corrosion inhibitors for mild steel. **Corrosion Science**, v. 48, n. 11, p. 3398-3412, 2006.
 - (18) ROCHA, J. C.; GOMES, J. A.C.P.; D'ELIA, E. Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid solutions by fruit peel aqueous extracts. **Corrosion Science**, v. 52, n. 7, p. 2341-2348, 2010.
 - (19) HUSSIN, M. H., KASSIM, M. J. Electrochemical, Thermodynamic and Adsorption Studies of (+)-Catechin Hydrate as Natural Mild Steel Corrosion Inhibitor in 1M HCl. **International Journal of Electrochemical Science**, v.6, p. 1396- 1414, 2011.