

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).

Estudo da eficiência do pó da torta de palmiste como inibidor de corrosão para o aço carbono em meio ácido

André de M. Santos^a, Miriam S. Tokumoto^b, Isabel C. Guedes^c, Hercílio G. de Melo^c,
Vera Rosa Capelossi^d

Abstract

One of the main drawbacks for application of carbon steel consists on the low corrosion resistance. To reduce corrosion effects, corrosion inhibitors can be used; however, currently, most of them are synthetic and harmful to human health and the environment. Therefore, there is the necessity to replace them by environmentally friendly compounds. This work aims to evaluate the efficiency of palm kernel cake powder from the fruit of palm (*Elaeis Guineans Jacq.*) as a corrosion inhibitor for ASTM 1020 carbon steel in acidic solution (HCl 0.5 mol.L⁻¹). The corrosion inhibition efficiency was evaluated by electrochemical and gravimetric techniques. The chemical characterization of the inhibitor was obtained using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), whereas the morphology of the corroded substrate surface was performed by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that inhibition efficiency of up 90% could be achieved by increasing the quantity of inhibitor in the test solution, in addition, the polarization curves showed a mixed type of inhibition. The results indicate that palm kernel cake powder is a promising corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acidic medium, which can be probably associated with the presence of potentially inhibiting chemical functionalities, as identified in the FTIR spectrum.

Keywords: Carbon steel, Corrosion, EIS, *Elaeis guineenses Jacq.*, Natural Inhibitors.

Resumo

Um dos principais problemas no uso do aço carbono é a sua baixa resistência à corrosão. Para reduzir os efeitos da corrosão podem ser utilizados inibidores de corrosão, porém, a maioria deles é sintético, prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente, surgindo a necessidade de substituí-los por inibidores ambientalmente amigáveis. Este trabalho tem como objetivo avaliar o pó da torta de palmiste proveniente do fruto de dendê (*Elaeis guineenses Jacq.*) como inibidor de corrosão para o aço carbono ASTM 1020 em solução ácida (HCl 0,5 mol.L⁻¹). A avaliação da eficiência contra a corrosão foi obtida por técnicas eletroquímicas e gravimétricas. A caracterização química do pó foi obtida por espectroscopia na região do

^a Engenheiro de Produção – Universidade Estadual de Santa Cruz

^b Doutora, Química – Universidade Estadual de Santa Cruz

^c Doutora, Engenharia Química – Universidade de São Paulo

^d Doutora, Engenharia Química – Universidade Estadual de Santa Cruz

infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), enquanto a caracterização morfológica da superfície das amostras foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foi verificado que o aumento da concentração do pó da torta de palmiste melhora a resistência à corrosão, e que a eficiência na inibição atingiu 90%. As curvas de polarização mostraram que o inibidor atua como inibidor misto. Os resultados indicam que o pó da torta de palmiste é um inibidor promissor para aço carbono ASTM 1020 em meio ácido, o que pode estar associado com a presença de compostos com propriedades inibitórias, como identificado no FTIR.

Palavras-chave: Aço carbono, Corrosão, EIS, *Elaeis guineenses* Jacq., Inibidores de origem vegetal.

Introdução

O aço carbono é largamente utilizado em diversos setores industriais. Constituído basicamente de ferro e carbono, além de elementos residuais, sua alta aplicabilidade é atribuída à excelente resistência mecânica aliada ao baixo custo (1).

No entanto, este material apresenta baixa resistência à corrosão na maioria dos meios, exigindo proteção para uso efetivo e confiável.

Um dos métodos mais utilizados para o combate à corrosão do aço carbono é a aplicação de inibidores de corrosão. Estes são compostos químicos que quando adicionados em concentrações adequadas no meio corrosivo aumentam a resistência à corrosão do material diminuindo sua suscetibilidade ao meio agressivo (2).

Como resultado dos riscos ambientais no descarte e à saúde humana decorrentes da utilização de inibidores sintéticos, as atenções estão voltadas para encontrar inibidores que sejam eficientes, de baixo custo e não tóxicos. Deste cenário advêm os inibidores verdes ou naturais, que são materiais de fonte biodegradável e renovável, obtidos de partes da planta como raiz, folhas, frutos e flores, e que apresentam a vantagem adicional de serem mais baratos que os inibidores sintéticos (3). Está documentado na literatura o efeito positivo dos inibidores verdes na redução da taxa de corrosão de diferentes materiais metálicos em meio ácido (4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14).

A palmeira de dendê (*Elaeis guineensis*) é responsável pela cadeia produtiva do óleo de dendê, condimento importante utilizado na gastronomia do estado da Bahia. A produção do óleo gera emprego e renda para a população local. Os frutos de dendê possuem como atributos: baixo custo de aquisição, alta disponibilidade e são não tóxicos, além de gerar coprodutos no seu processo produtivo (15). Outros componentes do fruto apresentaram potencial para serem efetivos inibidores de corrosão, devido à presença de compostos com propriedades antioxidantes contendo nitrogênio, oxigênio e anéis aromáticos, o que justifica estudar o potencial como inibidor de corrosão da torta de palmiste (16; 17).

Assim, a proposta deste trabalho é investigar a eficiência da torta de palmiste, coproduto oriundo da produção do óleo de dendê, na inibição da corrosão do aço carbono ASTM 1020 em meio ácido (HCl 0,5 mol L⁻¹).

Metodologia

Como material foi utilizado o aço carbono comercial ASTM 1020, sendo o eletrólito teste ácido clorídrico (HCl) na concentração de 0,5 mol L⁻¹.

Preparação das amostras

As amostras foram cortadas em placas nas dimensões de (20 x 20 x 8) mm. Após este procedimento a superfície foi tratada em lixadeira (modelo PLF da marca Fortel) com lixas d'água de granulometria 80, 120, 320, 400, 600 e 1200, progressivamente, com o objetivo de retirar impurezas e produtos de corrosão da superfície do material. Em seguida, as placas foram lavadas com água destilada, álcool etílico e acetona com o intuito de remover resíduos do processo de lixamento e desengordurar a superfície metálica. Sendo finalmente secas com jato de ar quente.

Preparação do pó da torta de palmiste

A torta de palmiste foi obtida por doação da empresa Óleos de Palma S/A. Esta foi oriunda do processo produtivo do óleo dendê, o fruto foi cultivado na região de Taperoá, no estado da Bahia.

A torta recebida foi inicialmente lavada em água corrente e seca em estufa (Tecnal, Modelo TE-393/2) a 70 °C por 24 h. Posteriormente, para reduzir a granulometria, o material foi triturado em moinho de facas com velocidade de rotação única (Labor). Em seguida, o produto da moagem foi separado com sistemas de peneiras (Tyler) utilizando agitador eletromagnético (Bertel), a uma velocidade de vibração 5 (unidade do próprio aparelho) por 15 min. A granulometria de 170 mesh foi separada e denominada como pó da torta.

As quantidades de pó da torta adicionadas ao eletrólito teste foram de 0,44 g.L⁻¹ (0,04 g por 90 ml de solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹), 0,77 g.L⁻¹ (0,070 g por 90 ml de solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹), e 1,11 g.L⁻¹ (0,1 g por 90 ml de solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹).

Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As análises por FTIR (Thermo Scientific Nicolet, modelo is10) foram obtidas na faixa média de comprimento de onda de 4000 a 400 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹. As amostras foram misturadas em pastilhas de KBr.

Ensaio Eletroquímicos

Os ensaios eletroquímicos foram realizados em triplicata (potenciostato/galvanostato Metrohm Autolab, PGSTAT302N, com módulo de impedância e controlado pelo software NOVA 1.11). Para tratamento dos dados utilizou-se o software Microcal[®] Origin[®] 8.0.

Foi utilizada uma célula eletroquímica com três eletrodos: eletrodo de referência Ag|AgCl|KCl_{sat}, contra eletrodo fio de titânio revestido com ródio com 1,6 mm de diâmetro e 10 cm de altura e eletrodo de trabalho (aço carbono ASTM 1020) com área exposta de 1 cm², sendo o eletrólito uma solução aquosa de HCl 0,5 mol.L⁻¹ sem e com diferentes quantidades do pó da torta.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados na seguinte sequência: inicialmente registrou-se o potencial de circuito aberto (*open circuit potential* – OCP) por 5400 s; em seguida foram realizados os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (*electrochemical impedance spectroscopy* - EIS); por fim, foram obtidas as curvas de polarização potenciodinâmica, iniciadas após 120 s do término dos ensaios de EIS.

Os ensaios de EIS foram realizados no OCP no intervalo de frequência de 100 kHz a 10 mHz com 10 pontos/década e amplitude de perturbação de 10 mV (rms). Para ajuste dos diagramas de impedância com circuito elétrico equivalente (CEE) foi utilizado o software ZView2.

As curvas de polarização anódica (-30 mV *vs* OCP a + 250 mV *vs* OCP) e catódica (+ 30 mV *vs* OCP a - 250 mV *vs* OCP) foram obtidas com eletrodos separados, ambas com velocidade de varredura de 0,5 mV/s.

Ensaio Gravimétricos

Os ensaios gravimétricos foram realizados em triplicata e seguiram o procedimento descrito na norma ASTM G1 (18). Para isto, as amostras de aço carbono ASTM 1020, previamente lixadas e limpas, foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,1 mg (Marte, modelo AY220) e imersas em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ sem e com pó da torta adicionado nas quantidades de 0,44 g.L⁻¹, 0,77 g.L⁻¹, e 1,11 g.L⁻¹. O tempo de imersão foi de 2 h.

Para avaliação da perda de massa, as amostras foram retiradas da solução após este intervalo, lavadas com água destilada, álcool e acetona, e secas com ar quente, sendo posteriormente pesadas para verificar a perda de massa.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As observações e análises por MEV foram realizadas após 168 h de imersão na solução ácida, em amostras lavadas com água destilada, álcool e acetona. O equipamento utilizado foi o Quanta 250F, do Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Estadual de Santa Cruz.

Resultados e discussão

Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 1 apresenta do pó da torta de palmiste analisado em pastilhas de KBr. Observa-se a presença de uma banda pronunciada em 3420 cm⁻¹, a qual pode estar associada à presença dos grupos N-H e OH (11; 19; 20).

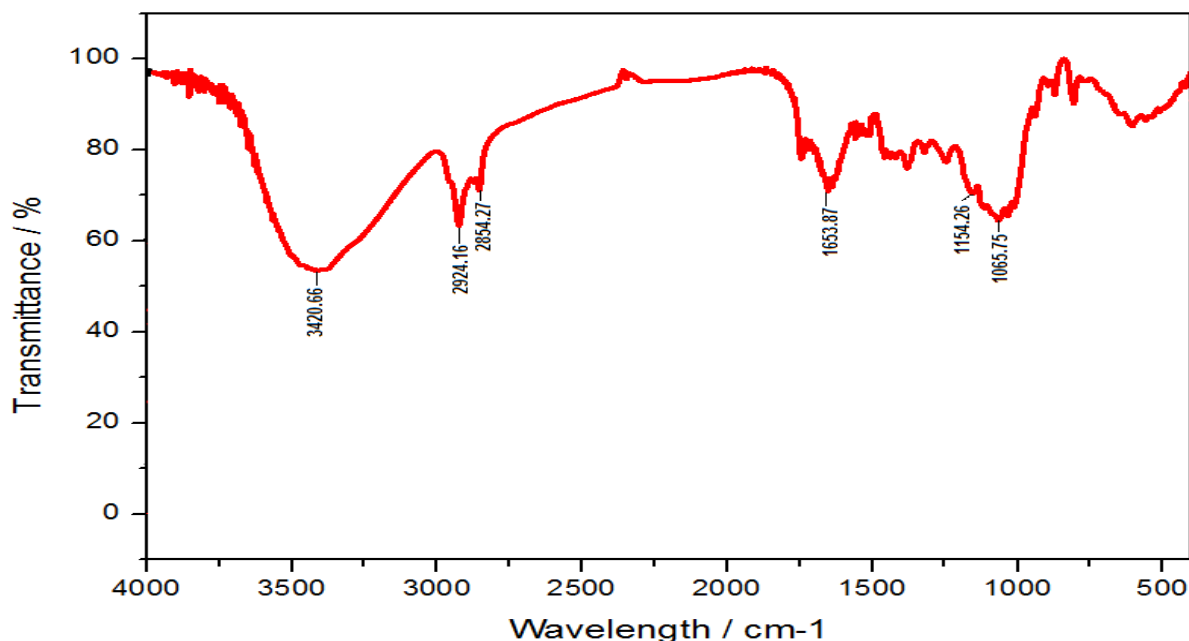


Figura 1 – Espectro FTIR do pó da torta de palmiste. Análise realizada em pastilhas de KBr.

A banda da região 2925 cm^{-1} é relacionada com a presença da ligação CH_2 (21), já a banda 1653 cm^{-1} é proveniente de ligações duplas de $\text{C}=\text{O}$ do grupo carboxílico (22; 23). A banda da região 1154 cm^{-1} do pó é atribuída à estrutura vibratória dos anéis (23), e aquela em 1065 cm^{-1} ao C-N ou C-O (19; 24).

Foi identificado no óleo de dendê a presença de anéis aromáticos e grupos funcionais contendo nitrogênio, oxigênio e carbono, aos quais foram atribuídas as propriedades inibitórias do óleo (16). Como a torta de palmiste é um coproduto do óleo de dendê era esperado que tais compostos também fossem observados na torta, como foi comprovado nos resultados apresentados na Figura 1.

Assim, observa-se que o produto estudado como inibidor de corrosão contém grupos funcionais (O-H , N-H , $\text{C}=\text{O}$, C-N , C-O) e anéis aromáticos, aos quais são geralmente atribuídas as propriedades inibitórias dos inibidores de corrosão. Estas derivam, geralmente, da habilidade de adsorção destas funcionalidades que gera um filme, atuando como uma barreira entre o metal e o eletrólito (19).

Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)

Os diagramas de EIS para o aço carbono ASTM 1020 após 5400 s de imersão no eletrólito teste, sem e com adição do pó da torta, estão apresentados nas Figuras 2 e 3. Os diagramas de Nyquist, Figura 2, mostram a ocorrência de apenas um arco capacitivo achatado, cujo diâmetro aumenta com a quantidade de pó da torta adicionada ao eletrólito, indicando diminuição de atividade corrosiva na interface. A manutenção do aspecto dos diagramas quando este foi adicionado à solução sugere que os compostos com propriedades inibitórias presentes apenas retardam o processo corrosivo, sem modificar seu mecanismo. Os diagramas exibem o mesmo formato daqueles apresentados na literatura (25), e que foram atribuídos ao processo de transferência de carga na interface metal/eletrólito.

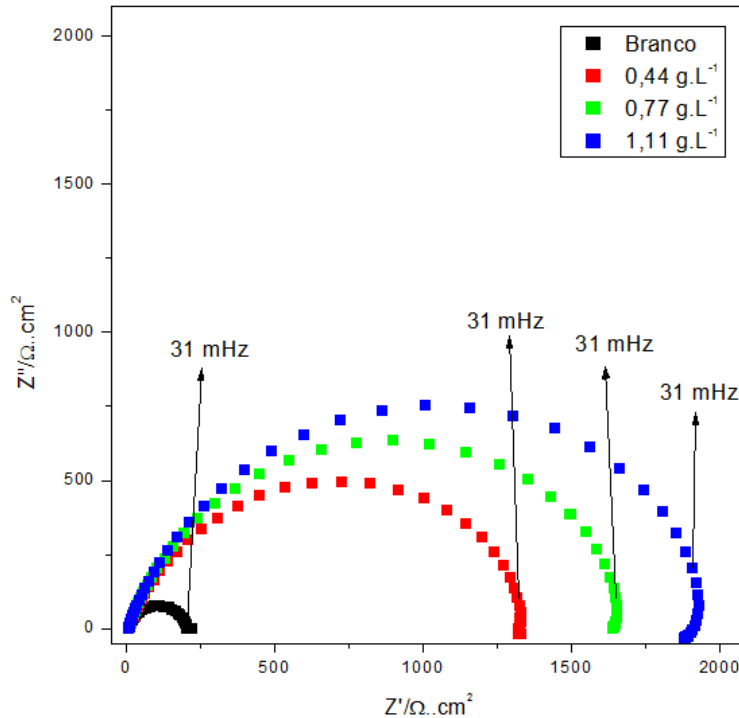


Figura 2 – Diagrama de Nyquist do aço carbono ASTM 1020 em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e na presença de diferentes quantidades do pó da torta de palmiste.

Confirmando os resultados dos diagramas de Nyquist, os diagramas de ângulo de fases de Bode (Figura 3) apresentaram apenas uma constante de tempo. Observa-se que o aumento da quantidade do pó da torta na solução tornou o ângulo de fases mais alargado, aumentando também o seu valor. Isto indica uma adsorção mais efetiva de espécies inibitórias na superfície do substrato, aumentando a espessura da dupla camada elétrica e retardando a evolução do processo corrosivo do metal (10; 26). Os diagramas não indicaram a formação de filme, o que seria caracterizado pela existência de uma nova constante de tempo em altas frequências. O maior ângulo de fase e o maior módulo de impedância foram obtidos quando 1,11 g.L⁻¹ do pó da torta foram adicionados ao eletrólito teste, correspondendo esta condição a uma menor intensidade da corrosão. A região em altas frequências dos diagramas de módulo de impedância mostra também que a adição do pó da torta ao meio corrosivo não alterou a resistência do eletrólito, confirmando que o aumento do ângulo de fases observado se deve efetivamente ao efeito inibitório devido à adição do pó da torta.

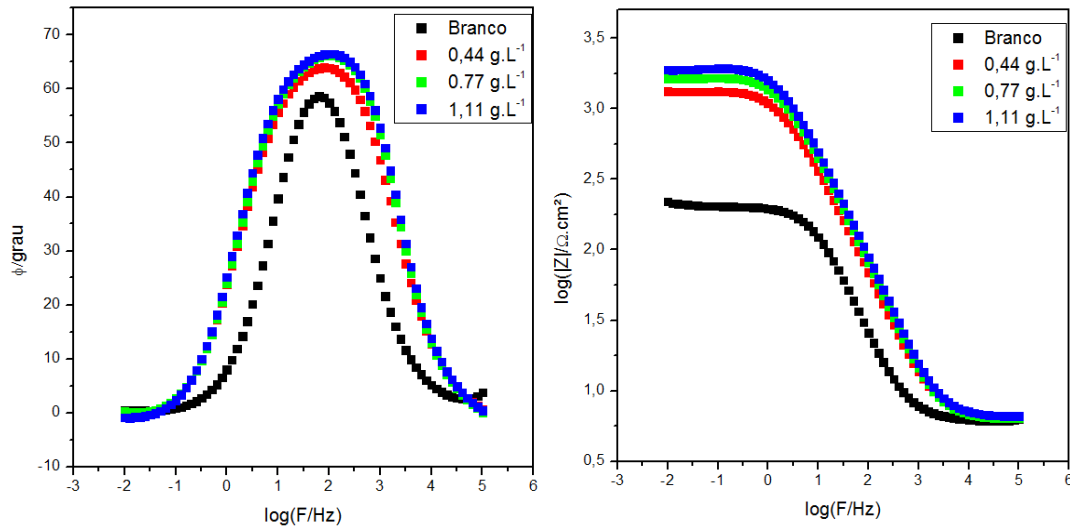


Figura 3 – Diagramas de Bode, ângulo de fase e módulo de impedância, do aço carbono em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e na presença de diferentes quantidades do pó da torta de palmiste.

Os diagramas de impedância foram ajustados com o CEE apresentado na Figura 4. O modelo proposto está de acordo com aqueles encontrados na literatura para os inibidores vegetais (3; 6; 27), e consiste da combinação em paralelo da resistência de transferência de carga (R_{ct}) com um elemento de fase constante representativo da dupla camada elétrica (CPE), estando o conjunto em série com a resistência da solução (R_s). O CPE foi utilizado em detrimento de um capacitor puro com o objetivo de compensar a resposta capacitiva não ideal da interface (28). A resistência de transferência de cargas corresponde à dificuldade que os elétrons apresentam em participar das reações eletroquímicas interfaciais, e seu valor é inversamente proporcional à taxa de corrosão (3; 29). Os resultados dos ajustes com o CEE são apresentados na Tabela 1. Os valores de capacitância da dupla camada (C_{dl}) apresentados na Tabela foram obtidos a partir da Equação 1 (5), onde f_{max} representa a frequência na qual a componente imaginária da impedância é máxima no diagrama de Nyquist:

$$C_{dl} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{max} \cdot R_{ct}} \quad (1)$$

As eficiências de inibição contra corrosão (IE%) foram calculadas através da Equação 2, na qual R_{Tinb} e R_{Tco} são as resistências a transferência de carga com e sem inibidor respectivamente:

$$IE\% = \frac{R_{Tinb} - R_{Tco}}{R_{Tinb}} \times 100 \quad (2)$$

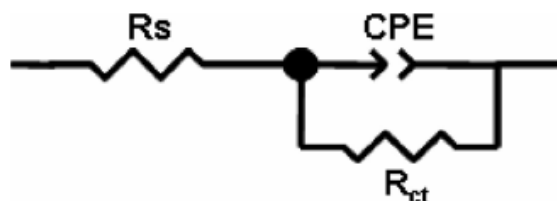


Figura 4 – Circuito elétrico equivalente utilizado para o ajuste dos diagramas de impedância.

De acordo com a Tabela 1, R_{ct} aumenta e C_{dl} decresce com o aumento da quantidade de pó da torta no eletrólito. A variação de R_{ct} indica que a área superficial ativa diminui com o aumento da quantidade de pó da torta em solução, o que está diretamente associado à redução da corrosão no sistema ocasionada pela adsorção de espécies inibidoras à superfície. Uma maior proteção contra corrosão provida pela adição do pó da torta também pode ser associada com o decréscimo nos valores de capacitância (5; 30), o que pode estar relacionado ao aumento da espessura da dupla camada elétrica devido ao processo de adsorção, dificultando o acesso de espécies agressivas até a interface do metal.

Tabela 1 – Resultados dos ajustes dos diagramas de impedância com o circuito elétrico equivalente da Figura 4.

Quantidade de pó da torta	R_s [$\Omega \cdot \text{cm}^2$]	CPE 1 [$\mu\text{F cm}^{-2}$ $\text{s}^{(n-1)}$]	n	R_{ct} [$\Omega \cdot \text{cm}^2$]	Erro R_{ct} (%)	f_{\max} [Hz]	C_{dl} [$\text{F} \cdot \text{cm}^{-2}$]	Eficiência (%)
Branco	6,3	$1,68 \times 10^{-4}$	0,86	198,6	0,42	7,943	$1,01 \times 10^{-4}$	
0,44 g.L⁻¹	6,2	$0,89 \times 10^{-4}$	0,80	1372	0,46	1,995	$0,58 \times 10^{-4}$	86
0,77 g.L⁻¹	6,2	$0,67 \times 10^{-4}$	0,82	1693	0,70	1,995	$0,47 \times 10^{-4}$	88
1,11 g.L⁻¹	6,2	$0,62 \times 10^{-4}$	0,82	1999	0,73	1,995	$0,39 \times 10^{-4}$	90

Os valores reportados na última coluna da Tabela 1 mostram que a eficiência na inibição contra a corrosão é crescente com o aumento da concentração do pó da torta estudado, atingindo uma eficiência de 90% para a maior quantidade testada. A literatura clássica reporta que a eficiência deve ser superior a 70% para o inibidor ser considerado eficiente (31). Os valores obtidos no presente trabalho estão acima deste limite, sendo também da mesma ordem de magnitude daqueles reportados em outros estudos com inibidores verdes (10; 32; 33) o que sugere ser viável o uso do pó da torta como inibidor de corrosão.

Curvas de Polarização Potenciodinâmica

As curvas de polarização potenciodinâmica anódica e catódica foram obtidas após os ensaios de OCP e de EIS, tendo sido iniciadas após 7200 s de tempo total de contato das amostras com o eletrólito teste sem e com as diferentes quantidades de pó da torta de palmiste. Como cada ramo da curva foi obtido com um eletrodo diferente, a Figura 5 apresenta as curvas catódicas e anódicas separadamente. Os resultados evidenciaram que, na presença do

composto estudado como inibidor de corrosão, tanto as reações catódicas como as anódicas são polarizadas mostrando um processo misto de inibição. Portanto, pode-se concluir que o composto estudado (pó da torta de palmiste) age reduzindo a dissolução do metal e a evolução H_2 . Além do mais, independentemente da quantidade adicionada de pó da torta, os diagramas mostram claramente que a densidade de corrente de corrosão diminui em cerca de duas ordens de grandeza, e que ocorre um pequeno deslocamento do potencial de corrosão para valores mais nobres. Este último fenômeno indica uma resposta de inibidor misto com leve predominância anódica.

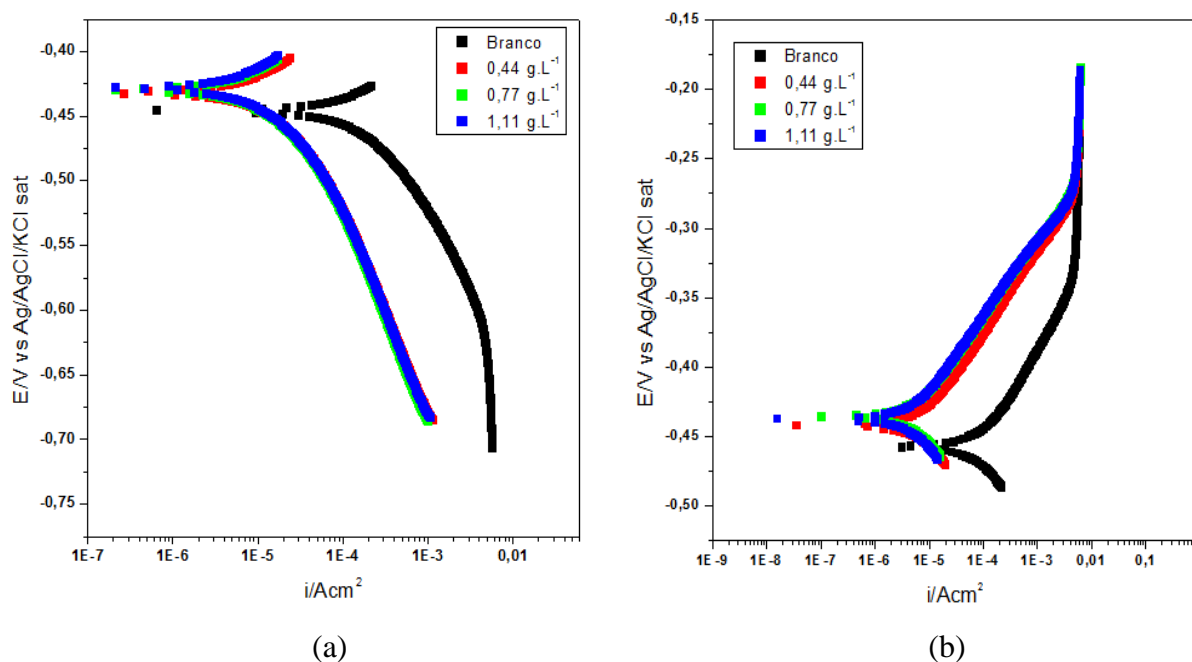


Figura 5 – a) Curvas de polarização catódica e b) anódica, para o aço carbono em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e na presença de diferentes concentrações do pó da torta de palmiste.

As curvas de polarização catódica, Figura 5(a), mostram claramente que, como esperado, a reação catódica predominante é a redução dos íons H^+ . Por sua vez, a oxidação do metal é controlada por ativação, já que as curvas anódicas são caracterizadas por um longo trecho linear (comportamento de Tafel). Este tipo de resposta corrobora a interpretação dos resultados dos ensaios EIS com o CEE, na qual o limite em baixas frequências da impedância correspondeu à resistência de transferência de cargas, o que, também neste caso, indica um processo controlado por ativação.

Verificou-se também que, na presença do pó da torta, não houve alteração na forma das curvas polarização, que foram apenas deslocadas para valores de menores densidade de corrente, corroborando com a interpretação dos diagramas de EIS, no sentido de que a ação inibitória não altera o mecanismo de corrosão.

Ensaio Gravimétricos

Os resultados dos ensaios gravimétricos após imersão durante 7200 s do aço carbono ASTM 1020 em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ na presença e na ausência de diferentes quantidades do pó da torta de palmiste são apresentados na Tabela 2. Para calcular a taxa de corrosão do

material (C_R), em $\text{g h}^{-1} \text{cm}^{-2}$, Tabela 2, foi utilizada a Equação 3, na qual ΔW representa a variação de massa da amostra, A , a área total exposta à solução e t o tempo de imersão:

$$C_R = \frac{\Delta W}{At} \quad (3)$$

Para calcular a eficiência de inibitória (η_{WL}), em porcentagem (%), utiliza-se a Equação 4, onde W_o é a taxa de corrosão na ausência do inibidor, e W_i é a taxa de corrosão na presença do inibidor (29).

$$\eta_{WL} = \left(1 - \frac{W_i}{W_o}\right) \times 100 \quad (4)$$

Tabela 2 – Resultados dos ensaios gravimétricos para o aço carbono ASTM 1020 em solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ na ausência e na presença de diferentes quantidades do pó da torta de palmiste. Tempo total de imersão de duas horas.

Concentração	Vcorr [$\text{g h}^{-1} \text{cm}^{-2}$]	Variância (σ^2)	Eficiência
Branco	$1,961 \times 10^{-4}$	5×10^{-11}	-
0,44 g.L ⁻¹	$0,631 \times 10^{-4}$	8×10^{-11}	68%
0,77 g.L ⁻¹	$0,477 \times 10^{-4}$	21×10^{-11}	76%
1,11 g.L ⁻¹	$0,376 \times 10^{-4}$	1×10^{-11}	81%

Assim como nos resultados eletroquímicos, a Tabela 2 mostra que a adição do pó da torta ao eletrólito reduz a velocidade de corrosão, e que a eficiência de proteção aumenta com a quantidade adicionada, confirmando que o pó da torta de palmiste atua como inibidor de corrosão para o aço carbono ASTM 1020 em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹. Este processo, provavelmente, ocorre devido à adsorção de moléculas com propriedades inibitórias sobre a superfície do eletrodo de trabalho, como sugerido pelos resultados de EIS.

O maior valor obtido de eficiência para 120 min de ensaio é de 81% para concentração de 1,11 g.L⁻¹ do pó, sendo superior aos 70% indicado na literatura como parâmetro para indicar um inibidor eficiente (31), o que corrobora com os resultados dos testes eletroquímicos e com os resultados encontrados na literatura (34; 35; 36).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram obtidas imagens do MEV após 168 h de imersão do aço carbono ASTM 1020 em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ na presença e na ausência do pó da torta de palmiste.

A Figura 6 apresenta a superfície do material após 168 h de imersão sem a presença de inibidor. Observa-se um ataque generalizado na superfície com a formação de produtos de corrosão volumosos. Na Figura 7, com a adição de pó da torta na quantidade de 1,11 g.L⁻¹, observa-se um ataque generalizado relativamente leve e uma importante redução na formação de produtos de corrosão, o que confirma as características inibitórias do pó adicionado.

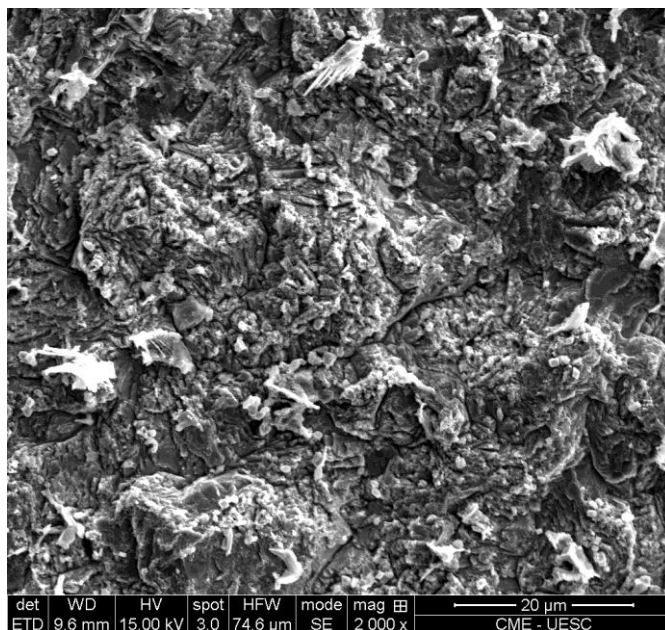


Figura 6 – Micrografia da superfície do aço carbono ASTM 1020 após 168 horas de imersão em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹.

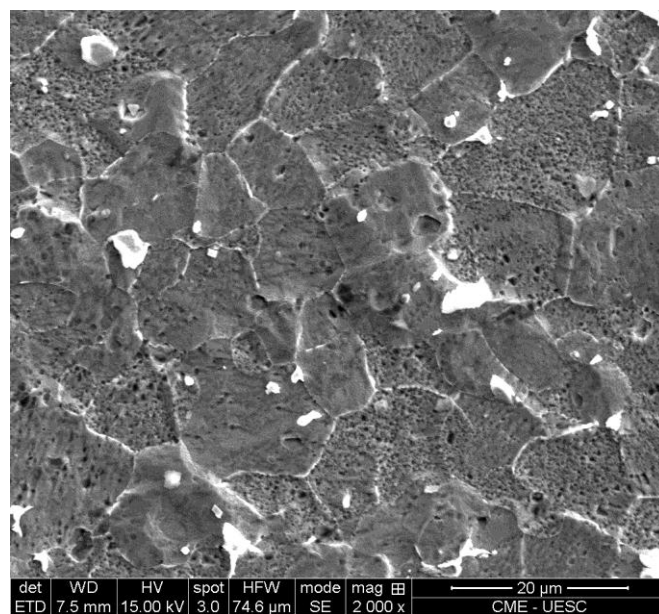


Figura 7 – Micrografia da superfície do aço carbono ASTM 1020 após 168 horas de imersão em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ contendo 1,11 g.L⁻¹ de pó da torta de palmiste.

Conclusões

A análise dos resultados permite concluir que o pó da torta de palmiste tem potencial para ser utilizado como inibidor de corrosão para o aço carbono ASTM 1020 em solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹.

O espectro de FTIR do pó da torta mostrou a presença de espécies que são geralmente encontradas em inibidores de corrosão, como átomos de oxigênio e nitrogênio em diferentes grupos funcionais (O-H, N-H, C=O, C-N, C-O) além de grupos de anéis aromáticos. Estas podem se adsorver a superfície da amostra explicando suas propriedades inibidoras.

Os ensaios eletroquímicos indicaram características inibitórias para o pó da torta de palmiste. Os resultados de EIS mostraram aumento do módulo da impedância com o aumento da quantidade do pó da torta adicionado ao eletrólito teste, e as curvas de polarização apontaram para a diminuição de aproximadamente duas ordens de grandeza na densidade de corrente de corrosão. Estes resultados foram confirmados pelos ensaios gravimétricos.

A análise dos resultados dos ensaios eletroquímicos (EIS e curvas de polarização) indicou também que o mecanismo de corrosão não é alterado na presença do pó da torta. Além do mais, foi constatada ação inibitória mista (curvas de polarização) e indicado que a inibição se dá por adsorção das moléculas na superfície do substrato (EIS).

Finalmente, eficiências de inibição de 81% e 90% determinadas a partir dos ensaios gravimétricos e de EIS, respectivamente, confirmam a potencialidade do pó da torta como inibidor de corrosão para o aço ASTM 1020, de acordo com o reportado na literatura clássica (31).

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

À empresa Óleos de Palma S/A pela doação de material para pesquisa.

Referências bibliográficas

- (1) CUSTÓDIO, J. V. **Viabilidade do emprego do benzoatriazol (BTAH) e do cloreto de dodecilamônio (DAC) como inibidores de corrosão para o aço-carbono em processos de hidrojateamento e na composição de tintas à base d'água.** Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de química da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- (2) QURAIISHI, M.A.; SARDAR, R.; JAMAL, D. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by some aromatic hydrazides. **Materials Chemistry and Physics**, v. 71, p. 309-13, 2001.
- (3) MOURYA, P.; BANERJEE, S.; SINGH, M. M. Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by *Tagetes erecta* (Marigold flower) extract as a green inhibitor. **Corrosion Science**, v. 85, p. 352-363, 2014.
- (4) ASSIS, B. V. R.; MEIRA, F. O.; PINA, V. G. S. S.; ANDRADE, G. F.; COTRIM, B. A.; RESENDE, G. O.; D'ELIA, E.; SOUZA, F. C. Efeito Inibitório do Extrato de *Piper Nigrum L.* sobre a Corrosão do Aço Carbono em Meio Ácido. **Revista Virtual Química**, v.20, n. 20, sem paginação, 2015.
- (5) ROCHA, J.C.; GOMES, J. A. C. P.; D'ELIA, E. Aqueous Extracts of Mango and Orange Peel as Green Inhibitors for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution. **Materials Research**, v. 17, p. 1581-1587, 2014.

-
- (6) NAZEER, A. A.; SHALABI, K.; FOUUDA, A. A. Corrosion inhibition of carbon steel by Roselle extract in hydrochloric acid solution: electrochemical and surface study. **Research on Chemical Intermediates**, v.41, p. 4833–4850, 2015.
- (7) RODRÍGUEZ-TORRES, A.; VALLADARES-CISNEROS, M. G.; GONZALES-RODRÍGUEZ, J. G. Use of *Salvia Officinalis* as Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Acidic Media. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 10, p. 4053 – 4067, 2015.
- (8) RAJA, P. B.; QURESHI, A. K.; RAHIM, A. A.; OSMAN, H.; AWANG, K. *Neolamarckia cadamba* alkaloids as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl media. **Corrosion Science**, v. 69, p. 292–301, 2013.
- (9) SOUZA, T. F.; MAGALHÃES, M.; TORRES, V. V.; D’ELIA, E. Inhibitory Action of *Ilex paraguariensis* Extracts on the Corrosion of Carbon Steel in HCl Solution. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 10, p. 22 – 33, 2015.
- (10) CHEVALIER, M.; ROBERTA, F.; AMUSANTB, N.; TRAISNELC, M.; ROOSA, C.; LEBRÍNIA, M. Enhanced corrosion resistance of mild steel in 1 M hydrochloric acid solution by alkaloids extract from *Aniba rosaeodora* plant: Electrochemical, phytochemical and XPS studies. **Electrochimica Acta**, v. 131, p. 96–105, 2014.
- (11) ALANEME, K. K.; DARAMOLA, Y. S.; OLUSEGUN, S. J.; AFOLABI, A. S. Corrosion Inhibition and Adsorption Characteristics of Rice Husk Extracts on Mild Steel Immersed in 1M H₂SO₄ and HCl Solutions. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 10, p. 3553-3567, 2015.
- (12) SOBHI, M.; EL-NOAWANY, H. H.; EL-ETRE, A. Y. Inhibition of Carbon Steel corrosion in Acid medium in by *Eruca sativa* Extract. **Journal of Basic and Environmental Sciences**, v. 1, p. 164 – 173, 2014.
- (13) M’HIRI, N.; VEYS-RENAUX, D.; ROCCA, E.; IOANNOU, I.; BOUDHRIOUA, N. M.; GHOUL, M. Corrosion inhibition of carbon steel in acidic medium by orange peel extract and its main antioxidant compounds. **Corrosion Science**, v. 102, p. 55-62, 2016.
- (14) ANUPAMA, K. K.; RAMYA, K.; SHAINY, K. M.; JOSEPH, A. Adsorption and electrochemical studies of *Pimenta dioica* leaf extracts as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid. **Materials Chemistry and Physics**, v. 167, p. 28-41, 2015.
- (15) MORAIS, J. P. S.; MEDEIROS, E. P.; da SILVA, J. A.; ROSA, M. F.; FILHO, M. M. S.; ALEXANDRE, L. C.; CASSALES, A. R.; SANTOS, M. A. Valorização de Coprodutos da Cadeia do Dendê. **Documentos – Embrapa Agroindústria Tropical**, v. 163, 2013.
- (16) NWIGBO, S.C.; OKAFOR, V.N.; OKEWALE, A.O. Comparative Study of *Elaeis Guiniensis* Exudates (Palm Wine) as a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic and Basic Solutions. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 4, p. 1035-1039, 2012.

-
- (17) FAYOMI, O. S. I. POPOOLA, A. P. I. The Inhibitory Effect and Adsorption Mechanism of Roasted *Elaeis guineensis* as Green Inhibitor on the Corrosion Process of Extruded AA6063 Al-Mg-Si Alloy in Simulated Solution. **Silicon**, v. 6, p. 137–143, 2014.
- (18) ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G1-03**: Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens, 2003.
- (19) RANI, A. B. E.; BASU B. B. J. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An Overview. **International Journal of Corrosion**, v. 12, p. 1-15, 2012.
- (20) GARAI, S.; GARAI, S.; JAISANKAR, P.; SINGH, J. K.; ELANGO, A. A comprehensive study on crude methanolic extract of *Artemisia pallens* (*Asteraceae*) and its active component as effective corrosion inhibitors of mild steel in acid solution. **Corrosion Science**, v. 60, p. 193–204, 2012.
- (21) 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.
- (22) EL-LATEEF, H. M. A.; ABBASOV, V. M.; ALIYEVA, L. I.; QASIMOV, E. E.; ISMAYILOV, I. T. Inhibition of carbon steel corrosion in CO₂-saturated brine using some newly surfactants based on palm oil: Experimental and theoretical investigations. **Materials Chemistry and Physics**, v. 142, p. 502-512, 2013.
- (23) SINGH, A.; SINGH V. K.; QURAIISHI, M. A. Effect of fruit extracts of some environmentally benign green corrosion inhibitors on corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution. **Journal of Materials and Environmental Science**, v.3, p. 162-174, 2010.
- (24) LI, X. H.; DENG, S. D.; FU, H. Inhibition by *Jasminum nudiflorum* Lindl. leaves extract of the corrosion of cold rolled steel in hydrochloric acid solution. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 40, p. 1641-1649, 2010.
- (25) GHAZOUANI, T.; HMAMOU, D. B.; MEDDEB, E.; SALGHI, R.; BENALI, O.; BOUYA, H.; HAMMOUTI, B.; FATTOUCH, S. Antioxidant activity and effect of quince pulp extract on the corrosion of C-steel in 1M HCl. **Research on Chemical Intermediates**, v. 41, p. 7463-7480, 2015.
- (26) FELIPE, M. B. M. C. **Avaliação da espécie vegetal *Croton cajuara* Benth como inibidor de biocorrosão em aço carbono AISI 1020**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2012.
- (27) KHADRAOUI, A.; KHELIFA, A.; BOUTOUMI, H.; HAMITOUCHE, H.; MEHDAOUI, R.; HAMMOUTI, B.; AL-DEYAB, S. S. Adsorption and inhibitive properties of *Ruta chalepensis* L. Oil as a green inhibitor of steel in 1 M Hydrochloric acid medium. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 9, p. 3334-3348, 2014.

-
- (28) LÓPEZ, D. A.; SIMISON, S. N.; SÁNCHEZ, S. R. The influence of steel microstructure on CO₂ corrosion. EIS studies on the inhibition efficiency of benzimidazole. **Electrochimica Acta**, v. 48, p. 845-854, 2003.
- (29) BOUMHARA, K.; TABYAOU, M.; JAMA, C.; BENTISS, F. *Artemisia Mesatlantica* essential oil as green inhibitor for carbon steel corrosion in 1 M HCl solution: Electrochemical and XPS investigations. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 29, p. 146–155, 2015.
- (30) DENG, S.; LI, X. Inhibition by *Ginkgo* leaves extract of the corrosion of steel in HCl and H₂SO₄ solutions. **Corrosion Science**, v. 55, p. 407–415, 2012.
- (31) UHLIG, H. H. **Corrosion and Corrosion Control**. John Wiley: New York, 1971.
- (32) HIJAZI, K. M.; ABDEL-GARBER, A. M.; YOUNES, G. O. Younes. Electrochemical Corrosion Behavior of Mild Steel in HCl and H₂SO₄ Solutions in Presence of *Loquat* Leaf Extract. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 10, p. 4366-4380, 2015.
- (33) TORRES, V. V.; AMADO, R. S.; de SA, C. F.; FERNANDEZ, T. L.; RIEHL, C. A. S.; TORRES, A. G.; D'ELIA, E. Inhibitory action of aqueous coffee ground extracts on the corrosion of carbon steel in HCl solution. **Corrosion Science**, v. 53, p. 2385–2392, 2011.
- (34) MUTHUKRISHNAN, P.; PRAKASH, P.; ILAYARAJA, M.; JEYAPRABHA, B.; SHANKAR, K. Effect of Acidified *Feronia elephantum* Leaf Extract on the Corrosion Behavior of Mild Steel. **Metallurgical and Materials Transactions B**, v. 46B, p. 1448-1460, 2015.
- (35) MOBIN, M.; RIZVI, M. Inhibitory effect of xanthan gum and synergistic surfactant additives for mild steel corrosion in 1 M HCl. **Carbohydrate Polymers**, v. 136, p. 384-393, 2016.
- (36) SINGH, A.; QURAIISHI, M. A. The extract of Jamun (*Syzygium cumini*) seed as green corrosion inhibitor for acid media. **Research on Chemical Intermediates**, v. 41, p. 2901-2914, 2015.